



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Veemajanduse osakond

Kätlin Vodja

**KOHTLA JÕE ÜMBERSUUNAMISVÕIMALUSTE JA
VOOLUHULKADE JAOTUMUSE UURIMINE**

**INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF DIVERSION AND
DISTRIBUTION OF FLOW IN RIVER KOHTLA**

Magistritöö
Vesiehitus ja veekaitse õppekava

Juhendaja(d) : lektor Urmas Uri
Erki Kõnd

Tartu 2017



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Kätlin Vodja		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse	
Pealkiri: Kohtla jõe ümbersuunamisvõimaluste ja vooluhulkade jaotumuse uurimine			
Lehekülgi: 64	Jooniseid: 9	Tabeleid: 10	Lisasid: 19
Osakond:		Veemajandus	
Uurimisvaldkond:		Vesiehitised	
Juhendaja(d):		Urmas Uri, Erki Kõnd	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu 2017	
<p>Seoses Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivis sätestatule peavad kõik veekogumid vastama seisundile „hea“.</p> <p>Põlevkivi kasutamise negatiivne mõju tuleneb eelkõige tööstusest lähtuvast ohtlike ainete põhjustatud koormusest ning suure osa sellest põhjustab veel tänapäevalgi jääkreostusega reostunud alade mõju. Antud aladel paikneb ka Kohtla jõe särg, mistõttu on vajalik uurida erinevad võimalusi jõe seisundi parandamiseks.</p> <p>Käesolevas töös on esitatud erinevad alternatiivid Kohtla jõe jääkreostusega reostunud alade ohutustamiseks, ning valiti parim variant. Töös arvestati Kohtla jõe vooluhulkasid ja potentsiaalseid võimalusi vooluhulkade suurenemiseks tulevikus. Arvutusallusena kasutati kirjanduses saadaval olevaid juhendeid, olemasolevat reostuse ulatust ja autori poolt mõõdetud vooluhulkasid.</p> <p>Parimaks lahenduseks osutus Kohtla jõe särgile möödavoolukraavi rajamine, sest seoses suure reostuse mahuga ei ole kogu jõe särgi puhastamine majanduslikult otstarbekas. Möödavoolukraavi ja vana särgi vooluhulkade reguleerimiseks on esitatud projektlahendus möödavoolukraavile künnisülevoolu ja vanale särgile avaülevoolu rajamiseks. Looduslikke tegureid arvestades on avaülevool projekteeritud kaheavalisena, millest üks ava on kilpvarjadega reguleeritav.</p>			
Märksõnad: vesiehitised, künnisülevool, ülevool, Kohtla jõgi, jääkreostus			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's thesis	
Author: Kätlin Vodja		Specialty: Hydraulic Engineering and Water Pollution Control	
Title: Investigation of possibilities of diversion and distribution of flow in River Kohtla			
Pages: 64	Figures: 9	Tables: 10	Appendixes: 19
Department:		Water Management	
Field of research:		Hydraulic Engineering	
Supervisors:		Urmas Uri, Erki Kõnd	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>Due to the directive 2000/60/EC of the European Parliament all member states should aim to achieve the objective of at least good water status.</p> <p>The negative effects of using oil shale is caused by large pollution loads of dangerous substances. Areas still battling with residual pollution contribute to the negative effects in a significant way. River Kohtla is also based in those areas, therefore different oppurtunities to improve river status needed to be compared.</p> <p>All calculations were based on discharges of River Kohtla and potential increases of flows in the future. Calculations were made by using guidelines found in literature, excisting range of residual pollution and river flows which were measured by the author.</p> <p>On the basis of current situation a diversion channel proved the best solution. Bearing in mind the extent of the pollution it is not economically resourceful to clean all of the river. For controlling the discharge to both channels, a comprehensive design is presented. A submerged weir into diversion channel and constructing a second weir into inflow of the old riverbed. Considering peculiarities of the nature, the second weir is designed to have two openings, in which one is to be regulated with wooden gates.</p>			
Keywords: hydraulic structures, residual pollution, Kohtla river, weir, submerged weir			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KOHTLA JÕGI	8
1.1 Kohtla jõe üldseisund	8
2. PÕLEVKIVI TÖÖTLEMINE KIRDE-EESTIS NING SELLEST TULENEV REOSTUS	9
2.1 Ajalugu	9
2.2 Põlevkivi	9
2.3 Ohtlikud ained	11
3. KOHTLA JÕE JÄÄKREOSTUS	13
4. VÕIMALUSTE UURIMINE	17
5. KOHTLA JÕE VOOLUHULGAD	19
5.1. Kaevandustest tingitud mõju Kohtla jõe vooluhulgale	19
5.2. Mõõtmistulemused	21
5.2.1 Voolukiiruste mõõtmine	21
5.2.2 Vooluhulkade arvutamine	23
6. PROJEKTEERITAV MÖÖDAVOOLUKRAAV JA KÜNNISÜLEVOOL	28
6.1. Objekti asukoht	28
6.2. Möödavoolukraavi geoloogiline ehitus	28
6.3. Möödavoolukraavi künnisülevoolu dimensioneerimine	31
6.3.1 Vooluhulkade arvutusvalemid	31
6.3.2 Künnisülevoolu kõrguse arvutusvalemid	33
6.4 Künnisülevoolu rajamine	35
6.5. Kaheavalise ülevoolu rajamine	36
6.5.1. Sufosiooni kontroll	36
6.5.2. Taldmiku paksuse kontroll	38
6.5.3. Ülevoolu püsivusarvutused	39
6.5.4 Varjadega reguleeritava ava tugevusarvutused ja konstruktsioon	42
6.6 Läbilaskevõime	45
7. VOOLUHULKADE JAOTUMUS	48
KOKKUVÕTE	50
KASUTATUD KIRJANDUS	52
INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF DIVERSION AND DISTRIBUTION OF FLOW IN RIVER KOHTLA	53

LISAD	54
Lisa 1. Möödavoolukraavi mahud	55
Lisa 2. Möödavoolukraavi läbilaskevõime.....	58
Lisa 3. Lõigus 3 paikneva kaheavalise ülevooluava 1 läbilaskevõime	59
Lisa 4. Lõigus 3 paikneva kaheavalise ülevooluava 2 läbilaskevõime	60
Lisa 5. Lõigu 3 läbilaskevõime kokku	61
Lisa 6. Lõigu 3 ja möödavoolukraavi läbilaskevõime kokku.....	62
Lisa 7. Kaheavalise ülevoolu ja möödavoolukraavi läbilaskevõimed kokku.....	63
Lisa 8. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (tähtajatu piirang) ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	64

GRAAFILISED LISAD

1. Asukohaplaan 1:30 000
2. Alternatiivide plaan 1:15 000
3. Põhielementide plaan 1:200
4. Möödavoolukraavi pikiprofiil M_v 1:100 M_h 1:5000
5. Olemasolev sāngi lõige Jõe kinnistu (kū 32003:001:0013) juures 1:100
6. Projekteeritava künisülevoolu pealtvaade 1:100
7. Projekteeritava künisülevoolu lõiked 1:100
8. Projekteeritava kaheavalise ülevoolu plaan ja lõiked 1:50
9. Filtratsioonivoolu survepüür Lane'i meetodil 1:20
10. Ülevoolule mõjuvad jõud 1:20
11. Varjade konstruktsioon 1:20

SISSEJUHATUS

2013. aasta seisuga oli 62% Eesti pinnaveekogumitest heas või väga heas seisundis. Ülejäänud 38% veekogumil on keskkonnaeesmärgid veel saavutamata ning tuleb teha jõupingutusi nende seisundi parendamiseks. Veepoliitika raamdirektiiv ja Ida-Eesti veemajanduskava sätestavad, et kõik pinnaveekogumid peavad saavutama seisundi „hea“ aastaks 2015. Sellest lähtuvalt on Ida-Eesti veemajanduskavas määratud tugevasti muudetud veekogudena kõik veekogud, mille kohta on selgelt teada, et inimtegevus on nende veekogude seisundit oluliselt mõjutanud, mistõttu on Kohtla jõe jaoks antud pikendust aastani 2027.[2]

Ida-Virumaa kõige reostatumaks jõeks on aegade jooksul olnud Purtse jõgi koos oma parempoolse lisajõega, milleks on Kohtla jõgi. Jõgede kaudu suunati Soome lahte põlevkivi poolkoksiipuistangutelt pärinevat põlevkivifeenoolide ja -õlidega reostunud nõrgvett. Tööstuse tõttu on olnud jõgi tugeva reostuskoormuse all juba pikki aastaid.

Keskkonnaministeeriumi poolt tellitud ning AS Kobras poolt projekteeritud jääkreostuse inventariseerimise käigus selgitati välja kaheksa jääkreostusobjekti - Priimetsa, Härma, Maadevahe ja Laekvere ABT-d, Raadi ja Ämari lennuväli ning Kroodi oja ja Purtse jõgi reostuse ulatus. Eelprojekti Purtse, Erra ja Kohtla jääkreostuse ohutustamiseks on kasutatud antud lõputöö lähtematerjalina.

Magistritöö eesmärk on hinnata erinevaid võimalusi jõe ümbersuunamiseks ning uurida vooluhulkade jaotust vana sāngi ja uue möödavoolukraavi vahel. Välitööde käigus mõõdetakse Kohtla jõe vooluhulgad, selgitatakse reostuse põhjuseid ning esitatakse projektlahendus Kohtla jõe möödavoolukraavi algusesse künnisülevoolu rajamiseks.

Magistritöö koosneb sissejuhatuses, seitsmest peatükist, kokkuvõttest, kasutatud kirjanduse loetelust, inglisekeelsest kokkuvõttest, lisadest ja graafilistest lisadest. Esimeses peatükis esitatakse Kohtla jõe lühikirjeldus ja kirjeldatakse üldseisundit. Teises peatükis antakse ülevaade põlevkivitööstusest Ida-Virumaal. Kolmandas peatükis kirjeldatakse Kohtla jõe

reostuse ulatust ja põhjuseid. Neljandas peatükis esitatakse voolu ümberjuhtimiseks võimalikud alternatiivid. Viiendas peatükis on kirjeldatud jõe vooluhulkade mõõtmisi ning kuuendas peatükis esitatakse künnisülevoolu ja ülevoolu projektlahendused. Seitsmendas peatükis uuritakse, kuidas hakkab Kohtla jõe vooluhulk jagunema kahe erineva sängi vahel.

Eeskujuliku ja asjaliku juhendamise eest sooviksin tänada juhendajaid Urmas Uri ja Erki Kõndi. Samuti tänan abivalmiduse eest Martin Võru.

1. KOHTLA JÕGI

Magistritöös käsitletav objekt asub Ida-Virumaal Kohtla jõel, mis on Purtse jõe parempoolne lisajõgi. Jõgi on koos lisaharudega 31,3 km pikkune ning valgala suurus on 186,5 km². [1] Veekogu tüübiks on 2B - tugevasti muudetud veekogu. [2] Jõe ülemjooks on põlevkivi kaevandamise mõjul kuiv, keskjooks asub laugel lammialal, kus esinevad üleujutused, mis võivad sademeterikastel perioodidel ulatuda Kohtla-Järve tööstuspiirkonnani. Jõe alamjooks on lõikunud lubjakivisse ligikaudu 3 km ulatuses. Jõe kohta tehtud uuringud on näidanud, et jõe põhjasetted on reostunud peamiselt vedelate naftasaaduste jääkidega. [3]

Kohtla jõkke suubub 6 oja, kraavi ja peakraavi. Jõgi on heitvee suublaks Lüganusel asuva Järve Biopuhastus OÜ reoveepuhastile, lisaks juhib sademe- ja drenaaživett jõkke Kohtla-Järve VKG OIL AS, Lüganusel asuv Tootsi Turvas AS ning kaevandusvett Kohtla-Nõmmel asuv Kohtla Kaevanduspark-muuseum. Kohtla jõkke suubuv Varbe peakraav on eesvooluks maaparandussüsteemile. [1]

1.1 Kohtla jõe üldseisund

Kohtla jõe seisundit on hinnatud Ida-Eesti vesikonna veemajanduskavas. Nimetatud veekogumit on 2013. aasta seisuga hinnatud seisundi poolest halvaks, mille peamiseks põhjuseks on heptakloorepoksiidi ning pentaklorofenooli ja fluoranteeni piirväärtust ületav sisaldus. [2] Veekogu tüübiks on heledaveeline ja vähese orgaanilise aine sisaldusega jõgi, valgala suurusega 10-300 km² ning keemiline ja ökoloogiline seisund on hinnatud halvaks. [2] Negatiivset seisundit on võimalik parandada reostunud pinnase väljakaevamise ja puhastamisega, mis loob eeldused põhja- ja pinnavee kvaliteedi paranemisele looduslike isepuhastumise protsesside abil.

2. PÕLEVKIVI TÖÖTLEMINE KIRDE-EESTIS NING SELLEST TULENEV REOSTUS

2.1 Ajalugu

Eestis on põlevkivi kasutatud juba pikki aastaid ning see on Eesti olulisim maavara. Eestis hakati põlevkivi kaevandama 1916. aastal ning Eesti on ainus maa maailmas, kus põhiosa energiast saadakse põlevkivi kaevandamise tulemusel.[4]

Eestis rajati põlevkivitööstus 1918. aastal ning kaevandamise tippaasta saabus 1980. aastal, mil kaevandati 31 miljonit tonni põlevkivi aastas.[5] Järgnevatel aastatel põlevkivi kaevandamine Eestis vähenes ja on stabiliseerunud tasemele 15-18 mln tonni aastas.[5] Hetkel on Eestis suurimad põlevkivikaevandajad ettevõtted Viru Keemia Grupp, Eesti Energia, Kunda Nordic Tsement ja Kiviõli Keemiatööstus.

Suurel hulgal põlevkivi töötlemine toob endaga kaasa ka suurte jäätmete tekke kõikides põlevkiviga seotud tööstusharudes – kaevandamine, elektri-ja soojusenergia tootmine ning õlitööstus. Selle tõttu, et enamuse põlevkivi töötlevast tööstusest paikneb Ida-Virumaal, tekkis piirkonnas 2011. aastal 18,5 mln tonni jäätmeid, millest maavarade kaevandamisjäätmed moodustasid 9 mln tonni ja ohtlikud jäätmed (põlevkivi kolde- ja lendtuhk, poolkoks) 9 mln tonni, mis moodustas 2011. aastal riigi jäätmete kogutekkest üle 80%.[6]

2.2 Põlevkivi

Põlevkivi asub Eestis 10-70 meetri sügavusel maa sees ning on maapinnale lähemal põhjapoolsetel kaevandusaladel. Kaevandatav kiht on 2,7 kuni 2,9 meetri paksune ja väheneb pidevalt lõuna suunas.[5]

Põlevkivi on segakivim, mis koosneb kolmest süngeneetiliselt tekkinud põhikomponendist: orgaanilisest, karbonaatsest ja terrigeensest materjalist. Viimased kaks moodustavad kivimi mineraalse osa. Põlevateks komponentideks põlevkivis on süsinik ja vesinik ning nende

aatomsuhtest sõltub põlevkivi õlisisaldus.[7] Mineraalosa laguneb põletamisel ja tarvitab soojust, samuti aurub põletamisel kivimis sisalduv niiskus. 1000 tonnist põlevkivist moodustab põlev osa umbes 350 tonni, tuhasisaldus on 550 tonni ja niiskusesisaldus on 100 tonni.[7] Põlevkivi energeetilise kvaliteedi hindamiseks kasutatakse kütteväärtust. Kasutatava põlevkivi energiaväärtus erinevates leiukohtades sõltub orgaanilise aine sisaldusest. Hetkel Eestis kaevandatava põlevkivi keskmine kütteväärtus on 8,4-9,0 MJ/kg.[5]

Eestis on välja arenenud kaks peamist kasutamissuunda – põlevkivi kasutamine tahkekütusena ja põlevkivi töötlemine põlevkiviõliks ja -gaasiks ning põlevkivikeemiatoodeteks.

Põlevkivi kasutamisega kaasneb järgmine negatiivne mõju:[9]

- sõltuvalt põlevkiviõli tootmise mahust ja keskkonnanõuete rangusest võivad hakata suurenema ohtlike ainete heited õhku ja ka vette.
- kaasnevad suured jäätmekogused: põlevkivituhk, poolkoks ja pigijäätmed.

Põlevkiviõli on erinevate küllastunud ja küllastumata alifaatsete, tsükliliste ja aromaatsete süsivesinike ning muude orgaaniliste ühendite segu, mis saadakse põlevkivi utmisel ehk poolkoksistamisel (kuumutamisel kuni 550 °C) või põlevkivi koksistamisel (kuumutamisel 1000-2000 °C).[5] Utmise eesmärgiks on eelkõige kerogeeni ehk orgaanilise aine termiline lagundamine ja õli saamine.[8]

Eestis kasutatava tehnoloogiaga saadakse põlevkivist 10-18 massiprotsenti põlevkiviõli, tehnoloogilise protsessi efektiivsus on 80-90%. Põlevkiviõli iseloomustab tumepruun värvus ning spetsiifiline lõhn.[5]

Eelkõige on negatiivne keskkonnamõju seotud põlevkiviõli tootmise jäätmetega – peamisteks põhja- ja pinnavett saastavateks aineteks on õli ja selles sisalduvad PAH-id, benseen, toluen, ksüleen ja fenoolid. Vastupidi naftast toodetutele on mõni põlevkiviõli fraktsioon veest raskem ja nii on aastakümnetega jõepõhja settinud muda ning õlisaaduste segu sültjas mass.[8]

2.3 Ohtlikud ained

Aastakümneid tagasi ei pööratud olulist tähelepanu põlevkiviõli ja tootmisel tekkivate jäätmete keskkonnaohutule käitlusele – teadlikkus saastunud aladega kaasnevatest võimalikest riskidest oli väga väike. Õliga pinnase ja põhjavee ulatusliku saastumise põhjustasid lekked õli käitlemise, ladustamise või laadise kohtadel. Oluline oli ka pinnase, pinna- ja põhjavee reostumine reovee, jäätmete või muude ohtlikke aineid sisaldavate materjalide kaudu. Kuna praegused põlevkiviõli tootmise ettevõtted tegutsevad senini samades asukohtades, on nende territooriumid osaliselt jääkreostusega saastunud.[5]

Fenoolvesi tekib põlevkivi termilisel töötlemisel ning saadud toorõli edasisel käitlemisel. Sisaldab ühe- ja kahealuselisi fenoole, mistõttu vajab eraldi käitlemist. Fenoolid on aromaatsete süsivesinike hüdroksüülühendid, mille aromaatses tuumas asendab vesinikuaatomit üks või mitu hüdroksüülrühma. Ühealuselised fenoolid avaldavad mõju veekogu isepuhastusvõimele ning selle tagajärjel esineb hapnikutarbimise pidurdumine, vee värvust mõjutavad kahealuselised fenoolid. Samuti mõjutavad fenoolid kalade närvisüsteemi.[5] Fenoolset vett tekkis 2008. a 372 tuhat tonni ja 2013 aastal 455 tuhat tonni.[9]

Fuussid ehk õlitootmise vedelad jäätmelad sisaldavad raskeõli fraktsiooni, mehaanilisi lisandeid ja toorõli. Tekivad töötlemise käigus, kui õlist setitatakse välja sinna utmisprotsessi käigus sattunud vesi ja tahked osad. Fuussid kujutavad endast vedelat ja poolvedelat massi, mida ei ole mehaaniliste lisandite suure sisalduse tõttu võimalik pumbata. Fuusside täpne keemiline koostis oleneb tootmiseseadmetest ja -kohtadest, kus nad tekivad: põlevkiviõli aurude kondensatsioonüsteemis, raske generaatoriõli eelsetitamise protsessis, enne toorõli destilleerimist, põlevkiviõli hoidlates ja vahemahutites.[6] 2008. a tekkis pigijäätmelad 20 000 tonni ja 2013. aastal 200 tonni.[6]

Tahke jääk ehk poolkoks tekib termilisel töötlemisel ning moodustab 55-60 % kogu kasutatavast põlevkivist. Antud mass on poorne ja sisaldab orgaanilist- ning mineraalset ainet. Koksistamise eesmärgiks on kütuse sügav lagundamine, mille juures esmaselt tekkinud õliaurud lagunevad edasi, andes gaasi ja koksi. Iseloomulikuks jooneks on kõrge

aromaatsete süsivesinike sisaldus.[7] 2013. a tekkis poolkoksi 1,181 mln tonni ning taaskasutati 0,775 mln tonni.[6]

PAHid ehk polüaromaatsed süsivesinikud on orgaanilised ühendid, mis sisaldavad üksteisega liitunud benseenituumi. Tekivad orgaanilise aine mittetäielikul põlemisel ning on ühed levinuimad orgaanilised saasteained maakeral. Tekivad tööstuslikel ja olmelistel protsessidel, näiteks nagu orgaaniliste kütuste põletamine soojusenergia saamiseks. Need on vees praktiliselt lahustumatud ning suudavad kergelt läbida bioloogilisi membraane ja akumuleeruda organismide rasvkoos.

Põlevkivi kasutamise negatiivne mõju tuleneb eelkõige tööstusest lähtuvast ohtlike ainete põhjustatud reostuskoormusest. Suure osa sellest moodustab veel tänapäevalgi jääkreostusega saastunud alade mõju.[9] Antud ained on põhjustanud jões kalapopulatsiooni vähenemise, tervisele ohtlike ainete piirsalduse ületamise ning looduskeskkonna väärtuse vähenemise.

3. KOHTLA JÕE JÄÄKREOSTUS

Kohtla jõe setete reostuse on ajalooliselt põhjustanud Varbe peakraav, mida mööda jõuavad jõkke Kohtla-Järve poolkooksimäge ümbritsevate madalamate alade (nn fenoolisoo) veed ning Vahtsepa kraav, kuhu kunagise Kohtla-Järve põlevkivikeemia kombinaadi avariiväljalasu kraavist lasti kohalike elanike sõnul „õli ja tõrva“.[10] Jääkreostuse paremaks kirjeldamiseks on Kohtla jõgi jagatud 9-ks erinevaks lõiguks.

Lõik 1-Vahtsepa kraav

Reostus on levinud mööda voolusängi. Kallaste lähedale on lõiguti kuhjunud 0,1 m paksused „pigivaalud“. Kraavi põhi on kaetud reostunud setetega täies ulatuses. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes keskmiselt 0,6 m sügavusele. Lõigu pikkus on 2280 m ja jõe lang ligikaudu 1,4 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 16 200 m³. [3]

Lõik 2

Jõgi on käänuline ja konkreetse vooluteljega, üksikute kitsaste lammide ja sootidega. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu, mis on kohati valgunud lammidele ning esineb sootides. Kallaste lähedale on lõiguti kuhjunud 0,2 m paksused „pigivaalud“. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes 0,5-0,6 m sügavusele. Kallastel on reostus 0,1-0,2 m paksuse kasvukihi all, ulatudes 1,0 m sügavusele. Lõigu pikkus on 1555 m ja jõe lang ligikaudu 1,3 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 15 200 m³. [3]

Lõik 3

Jõgi on käänuline, kuid konkreetse vooluteljega, üksikute kitsaste sootidega. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu, kandunud kallastele ning esineb sootides. Reostus ulatub 0,2-0,5 m sügavusele. Kallastel levinud reostus asub 0,1-0,2 m paksuse kasvukihi all, ulatused 0,4 m sügavusele. Sootides levinud reostus ulatub 0,6 m sügavusele. Lõigu pikkus on 1485 m ja jõe lang ligikaudu 0,7 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 7000 m³. [3]

Lõik 4

Jõgi on üksikute käänakutega, kitsaste sootidega, konkreetse vooluteljega. Vooluveekogu algab reostus sette pealispinnast, ulatudes 0,2-0,5 m sügavusele. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 3300 m³. [3]

Lõik 5

Jõgi on käänuline, kohati mitme vooluteljega. Mitmete sootidega, lammide ja lodudega. Uuringu käigus leiti reostunud setet kõikidest voolutelgedest. Enamik vooluveekogu ja sootide lähedal olevaid lamme ja lodusid on reostunud. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes 0,2-0,8 m sügavusele. Kallastele kandunud reostus esineb kahes peamises tüübis. Madalamatel aladel on reostus levinud 0,3-0,4 m paksuse puhta kasvukihi all, ulatudes 0,3-0,9 m sügavusele. Kõrgematel aladel on reostus levinud 0,5-0,6 m paksuse puhta kasvukihi või saviliiva all, ulatudes 0,5-1,0 m sügavusele. Sonnides on reostus levinud 0,2-0,3 m paksuse kasvukihi all, ulatudes 0,6-0,8 m sügavusele. Nimetatud lõigus paikneb reostus väga suurel ja soisel maa-alal, asudes jõe ristlõigetel ca 20-150 m laiusel alal. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 173 500 m³. [3]

Lõik 6

Jõgi on üksikute käänakute ja sootidega, kitsaste lammidega. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu, paiguti valgunud madalamatele aladele ja kandunud kallastele ning esineb üksikutes jõesootides. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes 0,2-0,6 m sügavusele. Kallaste lähedale on lõiguti kuhjunud 0,1-0,2 m paksused „pigivaalud“. Lammialadel ja kallastel on reostus levinud 0,2 m paksuse puhta kasvukihi all, ulatudes 0,5-0,6 m sügavusele. Sootides on reostus levinud 0,2 m paksuse puhta kasvukihi all, ulatudes 0,5-0,8 m sügavusele. Lõigu pikkus on 1203 m ja jõe lang ligikaudu 0,3 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 11 300 m³. [3]

Lõik 7

Jõgi on üksikute laugete käänakutega, kohati mitme vooluteljega. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu ning piirkonniti kandunud kallastele. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes 0,1-0,6 m sügavusele. Kallastel on reostus levinud 0,2-0,4 m paksuse kasvukihi all, ulatudes enamasti 0,6 m sügavusele. Lõigu pikkus on 602 m ja lang 1,3 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 2700 m³. [3]

Lõik 8

Jõgi on mitmete käänakutega ja kohati mitme vooluteljega, esinevad üksikud soodid. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu ning esineb üksikutes sootides. Reostus algab sette pealispinnast, ulatudes 0,2-0,5 m sügavusele. Kallaste lähedale on lõiguti kuhjunud 0,1-0,2 m paksused „pigivaalud“. Lodualadel ja sootides on reostus enamasti levinud 0,3-0,5 m paksuse puhta kasvukihi all, ulatudes 0,7-1,0 m sügavusele. Lõigu pikkus on 2755 m ja lang 1,2 ‰. Reostunud pinnase maht antud lõigus on 13 800 m³. [3]

Lõik 9

Jõgi on mitmete käänakutega, konkreetse vooluteljega. Vooluveekogu põhi on osaliselt kaetud reostunud setetega. Horisontaalselt on reostus levinud mööda vooluveekogu, paiguti valgunud madalamatele aladele ning kandunud kallastele. Kallastel on reostus levinud 0,3 m paksuse kasvukihi all, ulatudes enamasti 0,3-0,6 m sügavusele. Lõigu pikkus on 1302 m ja lang 2,7 ‰. Reostunud pinnase maht on ligikaudu 7500 m³. [3]

Lõikude asukohad on toodud asukohaskeemil graafilises lisas nr 1.

Tulenevalt maa kasutusotstarbest tuleb kogu Kohtla jõe ja Vahtsepa kraavi puhastamiseks ette nähtud alal puhastada üle elumaa piirarvu reostunud pinnas. Antud juhul eemaldatakse jääkreostus ex-situ meetodil, sest tegemist on peamiselt vooluveekogude põhjasetetega. Selleks tuleb reostuse likvideerimisel esmalt vooluvesi reostunud pinnasest eraldada. Vee eraldamisel tuleb jälgida, et veekogu põhjas tekitatakse võimalikult vähe häiringuid, mis

põhjustavad sette alla kandumist. Peale sette liikumist tõkestavate rajatiste paigaldamist ja rajamist ning veevoolu eraldamist reostunud pinnasest on võimalik reostunud pinnas välja kaevata. Reostunud pinnase väljakaevel tuleb arvestada reostunud vee tõrjega. Vajadusel tuleb kogu vesi kohapeal puhastada ja tagasi jõkke juhtida. Kogu reostunud pinnase ja sette kogus on *ca* 250 500 m³, millest enamuse moodustab lõigu 5 reostus. Sellise koguse ladestamine prügilasse pole aga paraku võimalik, seetõttu kasutatakse reostunud pinnase puhastamiseks meetodeid, mis võimaldavad kiiret ja kontrollitud puhastamist, näiteks termodesorptsioon. Puhastatud pinnas niisutatakse tolmu vältimiseks ja seda on võimalik kasutada kas tagasitäiteks või muuks ehituslikuks otstarbeks.[3]

Kõiki jõe puhastustöid tuleb teostada lähtest allavoolu liikudes, vältimaks juba puhastatud ala reostamist. Peale reostuse likvideerimist tuleb jälgida, et taastatavad jõelõigud oleksid looduslähedase ilmega.

Reostunud pinnase väljakaevamine või puhastamine loob eeldused põhja- ja pinnavee kvaliteedi paranemisele looduslike isepuhastumise protsesside abil. Selle tulemusena väheneb kantserogeensete, mutageensete ja teratogeensete ainete sisaldus pinnases ning kaob oht inimeste kokkupuuteks ohtlike ainetega.[3]

4. VÕIMALUSTE UURIMINE

- **0 – alternatiiv.** Loobuda jääkreostuse puhastustöödest ja jätta reostus looduslikult puhastuma.
- **1 - alternatiiv.** Puhastada reostunud pinnas elutsooni piirväärtustele vastavaks jõesetetes, jõeorus ja lammil.
- **2 - alternatiiv.** Osaline puhastamine, puhastada kõige reostunud lõik nr 5.
- **3 - alternatiiv.** Rajatakse möödavoolukraav Kohtla jõe lõigu 3 algusest lõigu 6 algusesse.
- **4 - alternatiiv.** Rajatakse möödavoolukraav, puhastatakse Kohtla jõgi möödavoolukraavi algusest olemasoleva metsakraavi kraav 1 algusesse. Veevoolu juhtimiseks Kohtla jõe sängist möödavoolukraavi on vajalik kraav 1 ümberkaevamine vastassuunas.
- **5 - alternatiiv.** Puhastatakse lõigud 1-4 ja rajatakse möödavoolukraav kõige reostunuma lõigu nr 5 kõrvale.
- **6 - alternatiiv.** Puhastatakse lõigud 1-4, kaevatakse ümber kraav nr 1 ning rajatakse möödavoolukraav kraavi 1 lõpust kuni 6-nda lõigu algusesse.

0 - alternatiiv ei vasta kehtivale keskkonnaõigusele, mille alusel tuleb kindlustada inimese tervise ohutu ja heaoluvajadustele vastav keskkond (keskkonna hea seisund). Inimestele vaba juurdepääsuga maastikul ja veekogudel on inimestel õigus eeldada, et keskkond ei ole ohtlikult saastatud. Senini saastunud alade jätkuvale isepuhastumisele põlevkiviõli jääkidest eelnimetatud aladel loota ei saa.[11]

1 - alternatiivi ei ole võimalik teostada, seoses saastunud alade suure ulatusega jõega piirnevatel aladel. Kogu pinnase saaste kõrvaldamine elutsooni piirväärtustest madalamale tasemele reaalsete kulutustega ei ole teostatav. Sellise töömahu elluviimiseks ei ole võimalik kulutuste otstarbekust tõestada.[11]

2 - alternatiivi korral on lõigus 5 puhastamist vajavat pinnast *ca* 173 500 m³, mis osutuks väga töömahukaks ja kulukaks. Antud lõigus muutuksid nii väljakaeve- kui tagasitäitemahud

väga suureks, maksumusega kuni 12 mln eurot. Samuti on sealne saastunud pinnas tänaseks suures osas kaetud puhaste setete ja kasvukihiga, ning nende alade puhastamine ei ole vajalik seni, kuni neid ei kavatseta aktiivselt kasutada.[11]

3 – alternatiivi puhul eeldaks see erakinnistutelt jõe veevoolu äralõikamist, kuid maaomanikel on õigus eeldada, et kui kinnistu on ajalooliselt asunud jõe kaldal, siis jääb see nii ka edaspidi. Seetõttu on ette nähtud antud piirkonnas tööde planeerimisel erakinnistutele jõe säilitamine.

4 – alternatiivi korral suurenevad möödavoolukraavi ja kraav 1 ümberkaevamisel kaevemahud, kuid seoses Kohtla-Järve linna sademeveetorustike rekonstrueerimisega võib eeldada, et tulevikus Kohtla jõe vooluhulgad suurenevad ning seda vooluhulka poleks enam Kohtla jõgi võimeline vastu võtma. Kohtla jõe ja Vahtsepa peakraavi läbilaskevõime suurendamine on vajalik vähendamaks Kohtla-Järve linna ja tööstuspiirkonna probleeme üleujutuste ja liigveega. Samuti võimaldab see variant säilitada vee Jõe erakinnistutel (kü 32003:001:0013; kü 43701:003:0026).

5 – alternatiivi korral antud lõigus 5 toimub suurvee vool kogu lammialal, mis on suures osas reostunud. Reostus asub jõe ristlõigetel ca 20-150 m laiusel alal ning möödavoolu rajamine antud piirkonda ei ole võimalik. Lisaks sellele ei võimalda pinnase kandevõime teostada võimalikult väikeste häiringutega ehitustöid.

6 – alternatiivi ei oleks otstarbekas teostada, sest tekiks ebaotstarbekas voolutelje teekonna pikendamine ning ebamõistliku kujuga voolusäng, kus väiksemate jõesängi nurkade puhul on oht sängi uhtumiseks.

Antud töös on leitud, et kõige otstarbekam on rakendada alternatiivi nr 4, sest seoses lõigu 5 suure reostusemahuga, ca 173 500 m³, ei ole seda ala finantsiliselt otstarbekas puhastada. Vältimaks lõigu 5 reostuse edasikannet tulevikus, ei ole muid variante kui rajada möödavoolukraav. See alternatiiv võimaldab tulla vastu elanike soovidele ning samas osaliselt taastada Kohtla jõe säng jääkreostuse eemaldamisega.

Alternatiivide plaan on toodud graafilises lisas nr 2.

5. KOHTLA JÕE VOOLUHULGAD

Kohtla jõe kohta ei osutunud kättesaadavaks usaldusväärseid vooluhulkade andmeid. Ebausaldusväärsed on nad seetõttu, et ei võeta arvesse Kohtla jõe valgalade muutuste mõju vooluhulkadele. Seetõttu on autor seoses lõputööga teostanud Kohtla jõel eraldi vooluhulga mõõtmised.

5.1. Kaevandustest tingitud mõju Kohtla jõe vooluhulgale

Varasemas uurimustöös on tõdetud, et Purtse valgala lisajõgede (Kohtla, Ojamaa, Erra ja Hirmuse) vooluhulk on kaevandusvee tugeva mõju all.[12] Enne põlevkivi kaevandamise algust olid nimetatud jõgede valgalad sarnased – valgala pindala, morfoloogia ja vooluhulk olid võrreldavad suurusel.

Riina Vaht on uurinud põlevkivi kaevandamisest tingitud hüdroloogilisi muutusi Purtse lisajõgede valgalas, kust selgub, et kaevandusvee suunamisega jõgedesse mitte ainult ei muutu jõe vooluhulk, vaid ka kaevevälja arendamine muudab tugevasti jõe toiteala pindala.[12]

Esimeseks valgala piiride muutuste ajaks võib pidada perioodi 1924-1962. Perioodi alguses avati Käva kaevandus ja rajati kaevandusest otse Kohtla jõkke 3 m sügavune ja 11-m laiune Vahtsepa kraav. Samal perioodil avati Kohtla ja Sompka kaevandus, millede kaevandusvesi suunati samuti Kohtla jõkke. Perioodi lõpuks oli 15 % Kohtla valgalast kaevanduste poolt hõlmatud.[12]

Järgneval perioodil (1963-1976) suurenes kaevanduste pindala. Vastavalt kasvas ka vajadus senisest intensiivsemalt kõrvaldada kaevanduskäikudesse kogunevat vett. Lahendus leiti uute äravoolukraavide rajamises kaevandustest jõgedesse. Ojamaa valgalale kaevati kaks uut kraavi: Kohtla kaevanduse kraav ja Ojamaa peakraav. Nende kraavide kaudu suunati täielikult Sompka ja Nr 4 ning osa Kohtla ja Tammiku kaevandusveest Ojamaa jõkke. Kuigi nimetatud kaevandused asusid Kohtla valgalal, suunati sellesse ainult kolmandik Kohtla kaevandusveest.[12]

Aastal 1974 avati Kohtla valgalal Aidu karjäär, samuti suurenes Kukruse ja Jõhvi kaevanduse pindala Kohtla valgalal. Ent need kaevandused suunasid oma vee valgalast välja (Pühajõkke). Kokkuvõttes vähenes Kohtla jõe toiteala 40 %, see-eest Ojamaa jõe toiteala suurenes 30% võrreldes loodusliku territooriumiga.[12]

Tabel 1. Valgalade muutus Purtse idapoolsetel jõgedel [12]

		Enne 1924	1924- 1962	1963- 1976	1977- 1985	1986- 2000	2001- 2004	2014
KOHTLA	Vooluhulga toiteala km ²	198	196	120	100	100	100	90
	Kaevandusala looduslikul valgalal km ²	1	32	72	98	98	98	108
OJAMAA	Vooluhulga toiteala km ²	231	230	300	315	335	200	340
	Kaevandusala looduslikul valgalal km ²	0	1	2	10	17	17	20

Järgmist perioodi (1977-1985) iseloomustab niinimetatud „põhjakaevanduste“ sulgemisest tekkinud muutused ja Aidu karjääri suurenev mõju. Aastaks 1977 oli suletud Käva, Nr 4, Kukruse ja Jõhvi kaevandus, mis täitusid pärast pumplate sulgemist põhjaveega. Tekkis „põhjakaevanduste“ maa-alune veereservuaar, millest vabavoolsena tänase päevani voolab läbi Vahtsepa kraavi Kohtla jõkke keskmiselt 5,9 mln m³/a. Kuni aastani 1985 pumbati Kohtla jõkke veel vaid veerand Kohtla kaevandusvee hulgast. Ülejäänud Kohtla valgalale jäävatest kaevandustest ja Aidu karjäärist tekkinud kaevandusvesi suunati Ojamaa jõkke. Selleks ajaks oli Kohtla valgala kaevanduste poolt haaratud ligi 100 km², samas kui Ojamaa valgalast ainult 10 km². Võrreldes loodusliku valgala suurusega, vähenes jõe toiteala 50 %, see-eest Ojamaa suurenes 40% võrra. 1990. aastatel avati Aidu karjääris ka Vanaküla osa, millest kaevandusvesi suunatakse otse Kohtla jõkke, kuid Vanaküla kaevandusvesi jõuab jõkke ainult suurvee ajal. Ülejäänud ajast neeldub vesi ilmselt Kohtla kaevandusse ning on seeläbi osa Ojamaa valgala veerežiimist.[12]

5.2. Mõõtmistulemused

5.2.1 Voolukiiruste mõõtmine

Autori sooritatud katsetes mõõdeti voolukiiruseid kahes erinevas punktis 2016. aasta detsembris ja 2017. aasta märtsis kiirusmõõturiga OTT ADC, mis kasutab kiiruse mõõtmiseks Doppleri efekti. See on elektromagnetlainete sageduse sõltuvus vee liikumise kiirusest ja suunast. Mõõtur salvestas kõikides punktides mõõdetud katsetulemused ning hiljem töödeldi saadud tulemused Exceli tabelisse.

Kokku teostati mõõtmisi kahes erinevas kohas ning neljas erinevas truubis. Mõõtmised tehti erinevate truupidega (DN 1000; metall ja betoon). Mõõtepunktide asukohad on märgitud joonisele 5.1.



Joonis 5.1 Mõõtepunktide asukohad

Kobras AS teostas Kohtla jõe vooluhulkade mõõtmisi aastatel 2014-2015 neljas erinevas jooniselt 5.1 näha olevas punktis. Kobras AS tulemused on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Kobras AS mõõdetud vooluhulgad

Mõõtepunkti number	Vooluhulk l/s	Kuupäev
7	52,2	dets.2014
8	288,9	dets.2014
9	179,8	dets.2014
10	149,9	dets.2014
7	154,6	märts.2015
8	882,1	märts.2015
9	486	märts.2015
10	553,9	märts.2015
8	115	dets.2015
10	28,2	dets.2015
7	291	juuli.2015
8	125	juuli.2015
9	59,4	juuli.2015
10	79,3	juuli.2015

5.2.2 Vooluhulkade arvutamine

Vooluhulk Q on vee maht, mis läbib veesängi ristlõiget ajaühikus, jõgede puhul on mõõtühikuks m^3/s või l/s . Jõgedes määratakse vooluhulk voolu keskkiiruse ja ristlõikepinna kaudu.[13]

$$Q = v \cdot A , \quad (5.1)$$

kus Q on vooluhulk m^3/s ;

v - voolukiirus m/s ;

A - voolu ristlõike pindala m^2 .

Vooluhulga arvutamisel on kasutatud hüdromeetrilist meetodit, mille puhul leitakse kõik vajalikud suurused otsese mõõtmisega ning vooluhulk määratakse mõõdetud kiirusjaotuse ja voolu ristlõikepinna kaudu. Antud juhul leiti voolukiirused ja veetasemete kõrgused truupides ning arvutati vooluhulk. Tulemused on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Autori poolt mõõdetud vooluhulgad

Truubi number	Läbimõõt mm	Voolu-kiirus m/s	Vooluhulk m³/s	Vooluhulk l/s	Kokku l/s	Mõõtmise aeg
Truup 10	2x1000	0,41	0,3182	318,2	527,20	detsember 2016
		0,27	0,209	209		
		0,33	0,259	259	383,80	
		0,16	0,1248	124,8		
Truup 13	2x1000	0,34	0,2613	261,3	832,30	
		0,73	0,571	571		
		0,50	0,3869	386,9	892,60	
		0,65	0,5057	505,7		
Truup 10	2x1000	0,25	0,0878	87,75	213,55	märts 2017
		0,34	0,1258	125,8		
		0,27	0,116	116,1	182,02	
		0,16	0,06592	65,92		
Truup 13	2x1000	0,21	0,03192	31,92	109,14	
		0,33	0,07722	77,22		
		0,28	0,0504	50,4	115,20	
		0,36	0,0648	64,8		

2016. aasta detsembris teostatud välimõõtmiste korral olid truubid uputatud olukorras, teistkordsel mõõtmisel 2017. aasta märtsis oli veetase alanenud. Juuresolevatelt joonistelt 5.2, 5.3, 5.4 ja 5.5 on näha veetasemete olukorda detsembri ja märtsikuu mõõtmise ajal.



Joonis 5.2. Veetase truup nr 13 juures 10.12.2016 (Autori foto)



Joonis 5.3. Veetase truup nr 13 juures 17.03.2017 (Autori foto)



Joonis 5.4. Truup nr 10 juures oleva tee olukord 10.12.2016 (Autori foto)



Joonis 5.5. Truup nr 10 10.12.2016 (Autori foto)

Nii käesoleva töö autori poolt teostatud vooluhulkade mõõtmistest kui ka Kobras AS poolt tehtud töös välja toodud andmete alusel on näha, et aastate lõikes on vooluhulkade kõikumised küllaltki suured. Kui Kobras AS andmetele tuginedes jäi suuremate vooluhulkade periood 2015. aastal märtsikuuks ja väiksemad vooluhulgad detsembrisse, siis autori poolt teostatud mõõdistused näitasid vastupidist. Antud mõõtmiste ja vaatluste tulemuste põhjal võib väita, et jõe vooluhulgad on küll enamjaolt väga väikesed, kuid esineb perioode, mil vooluhulgad võivad küündida üle 1000 l/s.

Tabel 4. Kuu keskmised temperatuurid ja sademed mõõtmisperioodidel [14]

Jõhvi vaatluspunkt	Keskmine õhu- temperatuur C°	Maksimaalne õhu- temperatuur C°	Minimaalne õhu- temperatuur C°	Päikese- paiste kestus h	Kuu sademete summa mm	Ööpäeva maksimum sademed mm
2014 detsember	-1,8	5,4	-16,8	12	54,8	9,4
2015 märts	2	14,5	-7,7	158	23,1	7,7
2015 juuli	15,5	29,3	3,6	243	81	8,4
2015 detsember	-3,6	10,9	-12,8	29	50	7,6
2016 detsember	-0,5	7	-10,5	12	30,4	9,4
2017 märts	1,1	11,3	-9,1	121	41	15

Samuti on Tabel 4 põhjal näha miks autori ja varasemalt teostatud töös mõõdetud vooluhulgad erinesid. Antud juhul tundub, et 2015. aasta märtsikuu suur vooluhulk, mis oli tingitud suurest hulgast lumesulamisveest, nihkus järgmisel aastal detsembrisse.

6. PROJEKTEERITAV MÖÖDAVOOLUKRAAV JA KÜNNISÜLEVOOL

Vastavalt valitud alternatiivlahendusele 4 on lõigust 5 reostuse edasikandumise vältimiseks ette nähtud veevool nimetatud jõelõiku sulgeda pinnasvalliga ja rajada uus jõesäng ehk möödavoolukraav Kohtla jõele kuni 6 lõigu algusesse. Elementide projekteerimisel on lähtutud autori poolt välitööde käigus mõõdetud vooluhulkadest, et näidata antud kohas selliste konstruktsioonide rajamise võimalikkust. Asukohaskeem on toodud graafilises lisas nr 1 ja põhielementide plaan graafilises lisas nr 3.

6.1. Objekti asukoht

Objekt asub Ida-Virumaal jääkreostusega reostunud Kohtla jõel, kus vastavalt peatükile 4 leiti, et ümberjuhtimiseks on kõige otstarbekam rajada möödavoolukraav. Möödavoolukraav paikneb katastriüksusel Kohtla metskond 2 (kü 43701:003:0310) ning on projekteeritud paralleelselt kohaliku metsateega nr 4370094 Püssi-Kohtla-Nõmme tee. Et tagada visuaalselt tajutav veevool mööda Kohtla jõe sängi (lõiku 3), on vaja projekteerida möödavoolukraavi algusesse künnisülevool. Künnisülevoolu rajamine on eelduseks Jõe kinnistutele jõe säilimiseks. Möödavoolukraav on ette nähtud rajada kogupikkusega 4195 m, põhja laiusega 3 m ja pikilangudega vahemikus 0,8-1,4 promilli.[3]

Möödavoolukraavi pikiprofiil asub graafilises lisas nr 4 ja kraavi mahud asuvad lisas 1.

6.2. Möödavoolukraavi geoloogiline ehitus

Möödavoolukraavi ala paikneb Viru lavamaal. Nõrga läänesuunalise kaldega maapinna absoluutkõrgus on 42,0..46,7 m. Pinnakate koosneb jää ja jääjärve setetest, mida katab muld või täitepinna. Aluspõhja kivimitest Ülem-Ordoviitsiumi Kõrgekalda kihistu savikas lubjakivi ja mergel.[17]

Möödavoolukraavi trassi geoloogilise lõike ülaosas levivad järgmised pinnasekihid :

Kiht 1. Täitepinnas

Levib pindmise kuni 1,00 paksuse kihina teedel ja kraavi kallastel. Pinnas koosneb tihenenu mullsegusest liivast ja savimöllist.[17]

Kiht 2. Muld

Levib pindmise 0,10...0,40 m paksuse kihina.[17]

Kiht 3. Peenliiv

Lasub enamasti mulla või täitekihi all kuni 1,40 m paksuse kihina või savipinnastes vahekihtidena. Peenliiv on kollakashall või pruun, savine ja niiske kuni veeküllastunud.[17]

Kiht 4. Savimöll

Pruunikashall, väheplastne ja poolpehme kuni poolkõva konsistentsiga. Kohati sisaldab savimöll mölli vahekihte ja kruusa. Looduslik veesisaldus (w_n) on 14,9...16,2%; plastsusarv (I_p^S) on 8,6% ja voolavusarv (I_L) on 0,12.[17]

Kiht 5. Möllsavi

Pruunikashall, liivaga, väheplastne ja poolpehme kuni poolkõva konsistentsiga. Möllsavis esineb õhukesti mölli vahekihte ja kohati vähesel määral kruusa. Looduslik veesisaldus (w_n) on 19,2...23,0%; plastsusarv (I_p^S) on 10,8...12,7% ja voolavusarv (I_L) on 0,27...0,41.[17]

Kiht 6. Möll

Lasub trassi idaosas 1,50...3,60 m sügavusel maapinnast absoluutkõrgusel 42,95...44,00 m kuni 0,75 m paksuse kihina. Möll on hall, tihe ja niiske.[17]

Kiht 7. Savimöllumoreen

Lasub 1,70...3,80 m sügavusel maapinnast absoluutkõrgusel 39,35...43,55 m. Savimöllumoreen on hall, väheplastne, sitke kuni kõva konsistentsiga ja sisaldab jämepurdu 10...30%. Kihti on uuringutel läbitud 0,70 m ulatuses.[17]

Kiht 8. Savimoreen

Lasub 1,20...3,70 m sügavusel maapinnast, absoluutkõrgusel 39,25...44,75 m. Kihti on puuritud 2,60 m ulatuses. Savi (kohati möllsavi) on sinakashall, liivaga, keskplastne, konsistentsilt sitke kuni kõva ja sisaldab jämepurdu enamasti kuni 5%. Savimoreenis esineb kohati ka liiva vahekihte. Savi looduslik veesisaldus (w_n) on 18,5...21,3%; plastsusarv (I_p^S) on 18,8...19,6% ja voolavusarv (I_L) on -0,10...0,06.[17]

Kiht 9. Jämepurdmoreen

Lasub 2,40...5,30 m sügavusel maapinnast absoluutkõrgusel 38,85...40,95 m. Pinnas koosneb lubjakivi lahmakatest, mille vahetäiteks on savimöll. Kihti on puuritud 0,70 m ulatuses.[17]

Kiht 10. Aluspõhja lubjakivi

Pealispind jääb trassil 3,10...5,60 m sügavusele maapinnast, absoluutkõrgusele 38,15...40,65 m. Kihti on puuritud 0,15 m ulatuses.[17]

Uuritud trassil on maapinnalähedane põhjaveekiht seotud Kvaternaari setetega. Vesi levib peamiselt jääjärvelistes liivpinnastes ja moreenis, erinevates liivakamates vahekihtides ja jämepurdmoreenis.[17]

6.3. Mõõdavoolukraavi künnisülevoolu dimensioneerimine

Künnisülevool on vajalik selleks, et lõigus 3 säiliks vee vool madalveeperioodidel. Vee voolu säilimine on vajalik selleks, et tagada erakinnistutel jõe säilimine ja tulevikus ala soostumise vältimine. Künnisülevoolu kõrguse arvutamiseks on vaja Jõe kinnistu (kü 32003:001:0013) juures leida optimaalsele veetasemele vastav vooluhulk. Leitud vooluhulga järgi arvutatakse vanale sängile projekteeritava kaheavalise ülevoolu veetase ning saadakse teada künnisülevoolu kõrgus. Arvutusvalemid on toodud järgnevates alapeatükkides.

6.3.1 Vooluhulkade arvutusvalemid

Selleks, et tagada Jõe kinnistu (kü 32003:001:0013) juures visuaalselt tajutav vee vool, võeti arvutuste aluseks märtsis sooritatud mõõtmiste tulemused. Vastavalt märtsis sooritatud mõõtmiste tulemustele jäi truubis 13 olev vooluhulk 100-115 l/s juurde, mil veetase oli absoluutkõrgustel 43,15-43,24 m, mistõttu valitakse kinnistu juures oleva optimaalse veetaseme kõrguseks 43,20 m. Vooluhulga leidmiseks veetaseme 43,20 m juures kasutati Chèzy valemit kraavide ja avasängide kohta. Olukorra kirjeldamiseks on graafilises lisas nr 5 toodud kinnistu juures oleva jõe ristlõige.

Chèzy valem vooluhulga arvutamiseks:[15]

$$Q = CA \cdot \sqrt{Ri_0}, \quad (6.1)$$

kus Q on vooluhulk m^3/s ;

C - Chèzy moodul $\text{m}^{0,5}/\text{s}$;

A - elavristlõike pindala m^2 ;

R - hüdrauliline raadius m ;

i_0 - hüdrauliline lang.

Chèzy mooduli saab arvutada Nikolai Pavlovski valemist:[15]

$$C = \frac{1}{n} R^\gamma, \quad (6.2)$$

kus C on Chèzy moodul $\text{m}^{0,5}/\text{s}$;

R - hüdrauliline raadius m ;

y – hüdrauliline astendaja;

n – karedusarv.

Raamat „Hüdraulika ja pumbad“ on toonud välja soovitud väärtused y määramiseks, kuid antud töös on astendaja väärtused arvatud Nikolai Pavlovski valemiga:[15]

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1), \quad (6.3)$$

kus y on hüdrauliline astendaja;

n – karedustegur, mis iseloomustab voolusärgi pinna kareduse mõju voolutakistusele;

R – hüdrauliline raadius m.

Hüdrauliliseks raadiuseks nimetatakse elavlõike ja märgpiirde suhet, mida arvutatakse valemiga:[15]

$$R = \frac{A}{X}, \quad (6.4)$$

kus R on hüdrauliline raadius;

A – elavristlõike pindala m²;

X -märgpiire m.

Voolukiirust arvutatakse valemiga:[15]

$$v = Q/A, \quad (6.5)$$

kus v on voolu kiirus m/s;

A – elavristlõike pindala m²;

Q – vooluhulk m³/s.

Antud lahenduses on vastavalt raamatule „Hüdraulika ja pumbad“ lk 397 valitud särgi kareduseks väga aeglase voolu ja sügavate võrendikega särgilõikude puhul 0,05 ja särgi pikilanguks vastavalt olemasolevale olukorrale 7 promilli.

Tabel 5. Vooluhulga arvutus Chèzy valemiga Jõe kinnistu (32003:001:0013) juures

H m	A m ²	X- märgpiire m	R m	y	C	Q m ³ /s	Q l/s	v m/s
0,30	0,892	3,822	0,2333	0,3842	11,4346	0,1303	130,3693	0,1461

Vastavalt arvutustele leiti, et optimaalne vooluhulk on 130 l/s.

6.3.2 Künnisülevoolu kõrguse arvutusvalemid

Vastavalt peatükile 6.3.1 toodud tulemustele on Kohtla jõe sāngi alaliselt suunatav optimaalne vooluhulk 130 l/s, seega tuleb rajada möödavoolukraavi põhi Kohtla jõe sāngist kõrgemale selles ulatuses, et oleks garanteeritud antud vooluhulga suubumine lõiku 3.

Künnisülevoolu kõrguse arvutamiseks leitakse lõigus 3 paikneval kaheavalise ülevoolu veetase vooluhulga 130 l/s juures.

Ülevooluava 1 läbilaskevõime arvutamiseks kasutatakse ülevoolu põhivalemit, mis kehtib kitsendatud ja uputatud ülevoolu kohta:[15]

$$Q = \sigma_u \cdot \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{\frac{2}{3}}, \quad (6.6)$$

kus Q on vooluhulk m³/s;

m - ülevoolutegur, mille väärtus oleneb ülevoolu ehitusest, antud ülesandes m=0,400;

b - ava laius m;

g - raskuskiirendus, mille väärtus on 9,81 m/s²;

H₀ - dünaamiline surge m;

ε – külgkitsendustegur;

σ_u - uputustegur, mis saadakse tabelist 6.

Tabel 6. Kandiliste ja vaakumita voolujooneliste ülevoolude uputustegur [15]

h_0/H_0	σ_u
0	1
0,05	0,996
0,1	0,991
0,2	0,985
0,3	0,972
0,4	0,957
0,5	0,935
0,55	0,922
0,6	0,906
0,65	0,884
0,7	0,856
0,75	0,823
0,8	0,776
0,85	0,71
0,9	0,621
0,95	0,47
0,99	0,17
1	0

Märkus. h_u on uputussügavus - antud juhul 0,30 m ja H_0 on surge ülevoolu ees

Dünaamiline surge arvutatakse valemiga:[15]

$$H_0 = H + \alpha_0 \cdot v_0^2 / (2 \cdot g), \quad (6.7)$$

kus H_0 on dünaamiline surge m,

α_0 – kineetilise energia tegur, mille väärtus on 1,1;

v_0 - keskmine juurdevoolukiirus;

g - raskuskiirendus, mille väärtus on 9,81 m/s².

R. Tšugajevi järgi võib juurdevoolukiiruse jätta arvestamata, kui juurdevoolusängi ristlõikepind $A_j \geq (3 \dots 4)bH$, siis $H_0=H$. [15]

Tulenevalt sellest, et olemasoleva sängi sissevool rajatakse betoonist, on vaja leida parandustegur külgkitsenduse arvestamiseks, mis arvutatakse J. Francise ja V. Creager'i valemist:[15]

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot n \cdot \xi \cdot \frac{H}{b_s}, \quad (6.8)$$

kus ε on külgkitsendustegur;

n – ülevooluavade arv;

ξ – kujutegur, mis oleneb jõesammaste kujust, ristkülikukujulise puhul on kujutegur 1;

H – surve ülevoolul m;

b_s – ülevooluavade kogulaius m.

Tabel 7. Künnisülevoolu kõrgus

Q m ³ /s	Q l/s	ε	σ_u	H m
0,130	130	0,731	0,8928	0,47

Lähendusarvutuste kaudu on töö autor leidnud, et vajalik künnisülevoolu kõrgus on 0,47 m. Kui kaheavalise ülevoolu põhjakõrgus on 43,90 m abs, siis on projekteeritud künnisülevoolu harjakõrguseks möödavoolukraavis 44,37 m abs. Sel juhul suubub erakinnistuteni optimaalne vooluhulk, milleks on 130 l/s.

6.4 Künnisülevoolu rajamine

Projekteeritud möödavoolukraavi põhi tuleb sissevoolul rajada reostusest puhastatavast Kohtla jõe põhjast 0,47 cm kõrgemale ning viia sujuvalt kokku projekteeritud möödavoolukraavi põhjaga.

Künnisülevoolu põhjakõrgus möödavoolukraavis on 43,50 m abs ning asub peenliiva kihis. Vettpidav möllsavi kiht asub kõrgusel 42,80 m abs, seetõttu on vajalik filtratsiooni ja sufosiooni läbi paisu ning selle alt tõkestada saviekraaniga. Saviekraan rajatakse kõrguste vahemikku 42,50-43,90 m abs ning külgedele kogulaiusega 10,60 m.

PA-42 Ida-Viru maakonna Lügánuse valla Varnja ja Aa küla				Suudme absoluutkõrgus			Veetase: 0,30 m	
Geoloogiline indeks	X	6585495,0	Y	680205,0	44,50 m			abs. kõrgus: 44,20 m
	Kihi sügavus maapinnast			abs. kõrgus	geoloogiline tulp	proovi akt nr	proovi süg., m	Kuupäev 8.sept.15
	algus	lõpp	paksus					LÕIKES ESINEVATE PINNASTE KIRJELDUS
Q_{IV}	0,00	0,30	0,30	44,20	2			Muld.
$Q_{III}^{I_2}$	0,30		1,40		3			Peenliiv: kollakashall, savikas, kohev kuni kesktihe, sisaldab orgaanilise aine vahekihte, veeküllastunud.
		1,70		42,80				
$Q_{III}^{I_2}$	1,70		1,25		4			Möllsavi: hall, väheplastne, poolpehme kuni sitke.
		2,95		41,55				
$Q_{III}^{I_2}$	2,95	3,15	0,20	41,35	8			Savimoreen: hall, kõva, sisaldab kruusa 20 %.

Joonis 6.1. Künnisülevoolu alune pinnas [17]

Künnisülevool on ette nähtud 6 meetri laiusena ja 8,1 meetri pikkusena. Ülevool rajatakse maakividest läbimõõduga 300-600 mm, mis tihendatakse omavahel kuivbetoonseguga. Maakivide ladumisega tuleb alustada nõlva alt liikudes ülespoole, järk-järgult kivide vahesid betooniga täites, seejuures betooni klass peab olema vähemalt C20/C25. Samuti tuleb kindlustada sāngi nõlvad ja rajada põhjakindlustus kividega fraktsiooniga 150-250 mm alaveepoolsele osale 5 meetri ulatuses.

Künnisülevoolu plaan ja lõiked asuvad graafilistes lisades nr 6 ja 7.

6.5. Kaheavalise ülevoolu rajamine

Kaheavaline ülevool on projekteeritud selleks, et kindlustada suuremate vooluhulkade ajal enamuse Kohtla jõe veevoolu suubumise möödavoolukraavi. Ülevool on projekteeritud kaheavalisena, millest üks on alaliselt lahti, ning teine on varjadega reguleeritav. Reguleerimine on vajalik ettevaatusabinõuna juhuks, kui lõiku 3 ei suubu vajalik vooluhulk. Vältimaks suurvee ajal vee voolamist üle kaheavalise ülevoolu, tuleb ümbritsevat maapinda tõsta *ca* 1 meetri võrra. Olemasoleva maapinna kõrguseks on ette nähtud 45,00 m abs ja põhja kõrguseks 43,90 m abs. Ülevool rajatakse betoonist ning ava 1 laius on ette nähtud 0,35 m ja ava 2 laius 1,45 m. Ülevoolu ette rajatakse prahipoom, et vältida suurema prahi kandumist allavoolu.

Kaheavalise ülevoolu plaan on toodud graafilises lisan nr 8. Antud joonisel on kirjeldatud vaid ülevoolu mõõtmeid, ning armatuur pole olnud töö ülesanne.

6.5.1. Sufosiooni kontroll

Üks paisu püsivust ohustavaid ja veekadu põhjustavaid tegureid on filtratsioon – läbi paisualuse ja paisu otstes oleva pinnase. Vesi liigub läbi pinnase veetasemete vahest põhjustatud surve toimel. Läbi pinnase liikuv vesi võib pinnaseosakesi kaasa viia, põhjustades taldmiku püsivust ohustavat sufosiooni. Sufosioon on geoloogiline protsess, mille käigus toimub põhjavee liikumise tõttu maakoosetendeis olevate kivimiosakeste ja

mitmesuguste lahustunud ainete väljauhtumine. Sufosiooni tagajärjel võivad pinnasesse tekkida tühimikud.[19] Filtratsiooni negatiivse toime vähendamiseks on antud projektis ülevoolule lisatud filtratsioonivoolu pidurdav betoonist hammas ning ülevool ehitatakse mõlemalt poolt pinnase sisse.

Ehitisele mõjuv surve leitakse Lane meetodiga.

Ehitisele mõjuv surve leitakse valemiga:[18]

$$H_f = H_1 - H_2, \quad (6.9)$$

kus H_f on filtratsioonisurve m;

H_1 – ülavee kõrgus m;

H_2 – alavee kõrgus m.

Ehitisele mõjuv surve valemist 6.9 saadakse $H_f = 0,75 - 0,38 = 0,37 \text{ m}$.

Lane' i meetodiga leitakse kontaktfiltratsiooni teekonna pikkus:[18]

$$L_{1...n} = \sum L_{\text{vertikaal}} + \frac{1}{3} \cdot \sum L_{\text{horisontaal}}, \quad (6.10)$$

kus $L_{1...n}$ on filtratsiooni teekonna pikkus m;

$L_{\text{vertikaal}}$ - kontaktfiltratsiooni vertikaalne pikkus m;

$L_{\text{horisontaal}}$ – kontaktfiltratsiooni horisontaalne pikkus m.

Kontaktfiltratsiooni teekonna pikkuseks valemist 6.10 saadakse $L_{1...n} = 2,4 + \frac{1}{3} \cdot 1,4 = 2,87 \text{ m}$.

Vajalik filtratsioonitee pikkus leitakse valemiga:[18]

$$L_s = C_L \cdot H_{ft}, \quad (6.11)$$

kus L_s on vajalik taldmiku kogupikkus m;

H_{ft} - filtratsioonisurve m;

C_L – Lane'i pinnase koefitsient, tegemist on peenliivaga $C_L=7,0$.

Vajalik filtratsioonitee pikkus valemist 6.11 saadakse $L_s = 0,37 \cdot 7,0 = 2,59 \text{ m}$.

Tingimus on täidetud : $2,59 < 2,87$

Saadud tulemuste põhjal koostatakse Lane'i survejõuepüür, mis asub graafilises lisas nr 9.

6.5.2. Taldmiku paksuse kontroll

Taldmiku paksuse kontroll tehakse punkti A suhtes, uurimaks kas taldmiku konstruktsioon võtab filtratsioonisurve vastu, või kas on vajalik paksust suurendada.

Paksus arvutatakse valemiga:[18]

$$t_{FL} = \frac{H_{FL} \cdot n}{(\gamma_{FL} - 1)}, \quad (6.12)$$

kus t_{FL} on taldmiku vajalik paksus antud punktis A m;

γ_{FL} – betooni erikaal – 2,3 t/m³;

n – varutegur, ehitise klass IV – 1,2;

H_{FL} – filtratsioonisurve antud punktis A.

Tabel 8. Taldmiku paksuse kontroll

Punkt	H_{fl}	T_{fla}	T_{flv}	T_{flj}
A	0,2	0,0462	0,2	0,2

Arvutused näitavad, et esialgselt valitud taldmiku paksusest piisab filtratsioonisurve vastuvõtmiseks.

6.5.3. Ülevoolu püsivusarvutused

Püsivusarvutused koos tugevusarvutustega on vajalikud ülevoolu konstrueerimisel. Ülevool ja kõik tema elemendid peavad olema projekteeritud nii, et erinevate maksimaaljõudude mistahes kombinatsioonis oleks tagatud ehitise tugevus ja püsivus. Püsivusarvutused tehakse kuuenda punkti suhtes.

Hüdrotehnilisele ehitisele mõjuvad ehitise omakaal, filtratsioonisurve ja jääsurve. Selle juures ei tohi unustada vees paiknevate konstruktsioonide kaalu vähenemist. Jääsurve on tuule või veevoolu mõjul liikuva jääpanga löögist tekkiv dünaamiline survejõud. Lisaks eelpool nimetatud jõududele tuleb arvesse võtta ka pinnase- ning veesurvet. Nende jõudude abil leitakse ülevoolu kontuurile mõjuvad rõhujõud, mille alusel hinnatakse ülevoolu stabiilsust ümberlükke ja libisemise seisukohast. Lane'i meetodiga on leitud filtratsioonisurved iseloomulikes punktides ja saadud tulemuste põhjal on koostatud filtratsioonisurve epüürid. Mõjuvad jõud on võrdsed epüüride pindaladega. Sarnaselt leitakse ka veesurve epüürid, sest vee mahukaal on 1 t/m^3 . Seega võetakse ka veest põhjustatud jõud võrdseks vastava epüüri pindalaga.[18]

Mõjuvad raskusjõud uputamata olukorras leitakse valemiga:[18]

$$G' = A_k \cdot \gamma_{BET} \cdot b \cdot \mu_p, \quad (6.13)$$

kus

A_k – ülevoolu uputamata osa ristlõikepindala m^2 ;

γ_{BET} – betooni mahukaal – $2,6 \text{ t/m}^3$;

b – ülevoolu laius m, arvutatakse jooksva meetri kohta;

μ_p – töötingimustegur – 0,95.

Raskusjõud uputamata olukorras valemist 6.13 saadakse $G' = 0,107 \cdot 2,6 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,264 \text{ T}$.

Mõjuvad jõud uputatud olukorras arvutatakse valemiga:[18]

$$G'' = A_u \cdot (\gamma_{BET} - \gamma_{VESI}) \cdot b \cdot \mu_p, \quad (6.14)$$

kus

A_u – ülevoolupaisu uputatud osa ristlõikepindala m^2 ;

γ_{BET} – betooni mahukaal - $2,6 \text{ t/m}^3$;

γ_{VESI} – vee mahukaal - 1,0 t/m³;

b – paisu laius m, arvutatakse jooksva meetri kohta;

μ_P – töötingimustegur – 0,95.

Raskusjõud uputamata olukorras valemist 6.14 saadakse $G'' = 0,593 \cdot (2,6 - 1) \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,901 T$.

Ülevoolule mõjuv raskusjõud kokku on ligikaudu 1,1 tonni. Ülevoolule mõjuvaid jõude iseloomustav joonis asub graafilises lisan nr 10.

Kontroll ümberlükkele

Ümberlükkele mõjuvate jõudude määramiseks koostatakse tabel 9, mille väärtusteks on jõu suurus, suund ja jõuõlg.

Tabel 9. Kontroll ümberlükkele

Tähis	Koormus T	Suund	Õlg m	Moment T·m	
				Tasakaalustav	Ümberlukkav
W_1	0,281	→	0,249		0,070
W_2	0,380	↓	0,500	0,190	
W_3	0,072	←	0,127	0,009	
F_{1-2}	0,351	→	0,547		0,192
F_{2-3}	0,042	↑	1,300		0,055
F_{3-4}	0,142	←	0,780	0,111	
F_{4-5}	0,062	↑	0,699		0,043
F_{5-6}	0,003	←	0,134	0,000	
G'	0,264	↓	0,500	0,132	
G''	0,901	↓	0,946	0,852	
			Summa:	1,295	0,360

Tabelis 9 saadud tulemuste põhjal peab olema tagatud tingimus, kus tasakaalustavate momentide summa jagatis ümberlukkavate momentide summaga peab olema suurem kui 1,1 ($M_{\text{tasakaalustav}} / M_{\text{ümberlukkav}} > 1,1$). Antud juhul saadakse $1,295/0,360=3,60$. Püsivus ümberlükkele on rohkem kui kolmekordselt tagatud.

Kontroll libisemisele

Keskmine hõõrdetegur arvutatakse valemiga:[18]

$$f_k = \frac{L_{bet-pin} \cdot f + L_{pin-pin} \cdot \tan \varphi}{\Sigma L}, \quad (6.15)$$

kus f_k on keskmine hõõrdetegur;

$L_{bet-pin}$ – ülevoolupaisu taldmiku betooniosa ja pinnasevahelise hõõrde pikkus m;

$L_{pin-pin}$ – ülevoolupaisu taldmiku pinnasevahelise hõõrde pikkus m;

ΣL – summaarne taldmiku pikkus m;

f – hõõrdekoefitsient betooni ja pinnase vahel peenliival $f=0,30$;

φ – sisehõõrdenurk $\varphi=30^\circ$.

Hõõrdetegur valemist 6.15 on $f_k = \frac{0,20 \cdot 0,30 + 1,2 \cdot \tan 30}{1,40} = 0,54$.

Enne kontrolli libisemisele leitakse vertikaaljõudude ja horisontaaljõudude summa:

$$\begin{aligned} \sum F_{vert} &= W_2 + G' + G'' - F_{2-3} - F_{4-5} = 0,380 + 0,264 + 0,901 - 0,042 - 0,062 \\ &= 1,441 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{hor} &= W_1 - W_3 + F_{1-2} - F_{3-4} - F_{5-6} = 0,281 - 0,072 + 0,351 - 0,142 - 0,003 \\ &= 0,415 \text{ T} \end{aligned}$$

Varutegur arvutatakse valemiga:[18]

$$k_p = \left[\frac{f_k \cdot \sum F_{vert}}{\sum F_{hor}} \right], \quad (6.16)$$

kus k_p on varutegur;

f_k – keskmine hõõrdetegur;

$\sum F_{vert}$ – vertikaalsuunas mõjuvate jõudude vahe T;

$\sum F_{hor}$ – horisontaalsuunas mõjuvate jõudude vahe T.

Varutegur valemist 6.16 on $k_p = \left[\frac{0,54 \cdot 1,441}{0,415} \right] = 1,875$.

Ülevoolu püsivus libisemisele on tagatud kui $k_p > 1,1$. Antud juhul on see tingimus täidetud ning ülevoolu püsivus libisemisele on tagatud.

6.5.4 Varjadega reguleeritava ava tugevusarvutused ja konstruktsioon

Looduslik olukord on ajas muutuv, seetõttu on teine ava, mille esise veetaseme reguleerimiseks on projekteeritud puitkilpvarjad tõstekonksudega.

Vari on veetaseme või vooluhulga reguleerimiseks kasutatav liigutatav tarind, millega osaliselt või täielikult suletakse vesiehitise vooluava. Kasutatakse seda möödavoolukraavi rajamise ajal, mil kogu Kohtla jõe veehulk suubub lõiku 3. Ülejäänud ajal kasutatakse seda vastavalt vajadusele, näiteks läveta ülevooluava remontimiseks.

Varjalaua pikkuseks on planeeritud 1,5 m ning veelaskme kõrguseks 1,1 m, mis on põhja ja ülevooluharja kõrguse vahe.

Alumisele lauale mõjuv koormus leitakse valemist:[18]

$$q = \rho_{vesi} \cdot H^{NPT} \cdot b_{laud}, \quad (6.17)$$

kus q on lauale mõjuv koormus $\frac{kgf}{m}$;

ρ_{vesi} – veesurvest põhjustatud lauskoormus 1000 kgf/m^3 ;

b_{laud} – puitkilpvarja laua paksus m;

H^{NPT} - surve ülevoolupaisul m, antud juhul 1,1 m.

Alumisele lauale mõjuv koormus valemist 6.17 on $q = 1000 \cdot 1,1 \cdot 0,05 = 55 \frac{kgf}{m}$.

Veesurvest põhjustatud paindemoment leitakse valemiga:[18]

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8}, \quad (6.18)$$

kus q on alumisele lauale mõjuv koormus kgf/m ;

l – laua pikkus m.

Veesurvest põhjustatud paindemoment valemist 6.18 on $M_{max} = \frac{55 \cdot 1,5^2}{8} = 15,47 \text{ kgf} \cdot m$.

Puidu arvutuslik arvutustugevus leitakse valemiga:[18]

$$R = m \cdot R^a, \quad (6.19)$$

kus R on puidu arvutuslik tugevus;

m – töötingimustegur, antud juhul $m=0,75$;

R^a – puidu arvutustugevus, antud juhul $R^a=130 \text{ kg/cm}^2$.

Puidu arvutuslik arvutustugevus valemist 6.19 on $R = 0,75 \cdot 130 = 97,5 \frac{kgf}{cm^2}$.

Vajalik laua paksus tuletatakse tugevustingimusest:[18]

$$\frac{M_{max}}{W} \leq R$$

Vajalik laua paksus arvutatakse valemiga:[18]

$$W = \frac{b_{laud}^2 \cdot h_{laud}}{6} \rightarrow b_{laud} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{R \cdot h_{laud}}}, \quad (6.20)$$

kus W on puitkilbi kaudu lauale mõjuva vee surve kgf;

b_{laud} – puitkilpvarja paksus m;

M_{max} - maksimaalne paindemoment kgf· m;

h_{laud} – laua paksus m.

Vajalikuks laua paksuseks valemist 6.20 saadakse $b_{laud} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 15,47}{975000 \cdot 0,3}} = 0,0178 \text{ m}$.

Tingimus on täidetud, sest $0,05 > 0,0178$. Varja ühe laua mõõtmeteks saadakse seega $1,5 \times 0,1 \times 0,05 \text{ m}$.

Puitkilbi kaudu postile mõjuva vee surve arvutatakse valemiga:[18]

$$W_v = \frac{\rho_{vesi} \cdot H^2}{2} \cdot l_{kilp}, \quad (6.21)$$

kus W_v on puitkilbi kaudu postile mõjuva vee surve kgf;

ρ_{vesi} – veesurvest põhjustatud lauskoormus 1000 kgf/m^3 ;

l_{kilp} – kilbi pikkus m;

H – paisutustasemest põhjustatud maksimaalne surve m.

Postile mõjuv surve valemist 6.21 saadakse $W_v = \frac{1000 \cdot 1,1^2}{2} \cdot 1,5 = 907,5 \text{ kgf}$.

Jõu õlg ülevoolu harja tipust mõjuva koondjõuni arvutatakse:[18]

$$c = \frac{1}{3} \cdot H, \quad (6.22)$$

kus c on jõu õlg m;

H – normaalpaisutusest põhjustatud maksimaalne surve m.

Jõu õla pikkus valemist 6.22 saadakse $c = \frac{1}{3} \cdot 1,1 = 0,37 \text{ m}$.

Posti pikkus on harja ja põhja kõrgusmärkide vahe:[18]

$$l = 45,00 - 43,90 = 1,1 \text{ m}$$

Jõu õlg teenindussilla kinnitusest kuni mõjuva koondjõuni arvutatakse:[18]

$$c' = l - \frac{1}{3} \cdot H, \quad (6.23)$$

kus c' on jõu õlg m;

H – normaalpaisutusest põhjustatud maksimaalne surve m;

l – posti pikkus m.

Jõu õla pikkus valemist 6.23 saadakse $c' = 1,1 - \frac{1}{3} \cdot 1,1 = 0,73 \text{ m}$.

Ülevoolu harjale kinnitatud posti otsale mõjuv jõud:[18]

$$R_b = \frac{W_v \cdot c}{l}, \quad (6.24)$$

kus R_b on posti otsale mõjuv jõud kgf;

W_v – puitkilbi kaudu postile mõjuva vee surve kgf;

c – jõu õlg ülevoolu harja tipust mõjuva koondjõuni m;

l – posti pikkus m.

Mõjuv jõud valemist 6.24 saadakse $R_b = \frac{907,5 \cdot 0,37}{1,1} = 305,25 \text{ kgf}$

Teenindussilla külge kinnitatud posti otsale mõjuv jõud:[18]

$$R_a = \frac{W_v \cdot c'}{l}, \quad (6.25)$$

kus R_a on posti otsale mõjuv jõud kgf;

W_v – puitkilbi kaudu postile mõjuva vee surve kgf;

c' – jõu õlg teenindussilla kinnitusest kuni mõjuva koondjõuni m.

Mõjuv jõud valemist 6.25 saadakse $R_a = \frac{907,5 \cdot 0,73}{1,1} = 602,25 \text{ kgf}$.

Maksimaalne paindemoment arvutatakse valemiga:[18]

$$M_{max} = \frac{W_v \cdot c \cdot c'}{l}, \quad (6.26)$$

kus M_{max} on maksimaalne paindemoment kgf·m;

W_v – puitkilbi kaudu postile mõjuva vee surve kgf;

c – jõu õlg ülevoolu harja tipust mõjuva koondjõuni m;

c' – jõu õlg teenindussilla kinnitusest kuni mõjuva koondjõuni m;

l – posti pikkus m.

Maksimaalne paindemoment valemist 6. 26 on $M_{max} = \frac{907,5 \cdot 0,37 \cdot 0,73}{1,1} = 222,83 \text{ kgf} \cdot \text{m}$.

Terase arvutuslik arvutustugevus arvutatakse valemiga:[18]

$$R_{arv} = m \cdot R^{norm}, \quad (6.27)$$

kus R_{arv} on terase arvutuslik arvutustugevus $\frac{kgf}{cm^2}$;

m – terase töötingimustegur, antud juhul $m=0,95$;

R^{norm} – terase arvutustugevus $\frac{kgf}{cm^2}$.

Terase arvutuslik arvutustugevus valemist 6.27 saadakse $R_{arv} = 0,95 \cdot 2100 = 1995 \frac{kgf}{cm^2}$.

Vajalik vastupanumoment arvutatakse valemiga:[18]

$$W_{vaj} = \frac{M_{max} \cdot 10^2}{2 \cdot R_{arv}}, \quad (6.28)$$

kus W_{vaj} on vajalik vastupanumoment cm^3 ;

M_{max} – maksimaalne paindemoment $kgf \cdot cm^2$;

R_{arv} – terase arvutuslik arvutustugevus $\frac{kgf}{cm^2}$.

Vajalik vastupanumoment valemist 6.28 saadakse $W_{vaj} = \frac{222,83 \cdot 10^2}{2 \cdot 1995} = 5,58 cm^3$.

Arvutatud vastupanumomendi järgi on valitud vajaliku ristlõikega U-profiil, mis võtab vastu arvutatud koormusi. Äärmised karpterased valatakse ülevoolu betoonkonstruktsiooni sisse. Valitud profiiliks on U-80, vastupanumomendiga $W=26,5 cm^3$ ja ristlõikepindalaga $A=11 cm^2$. Ühe varjalaua mõõtmed on $1,5 \times 0,1 \times 0,05 m$ ning kokku on neid 11. Varjalauad eraldatakse 4-ks erinevaks osaks kahe või kolme kaupa ning ühendatakse omavahel vertikaalse lauaga mõõtmetega $0,1 \times 0,3 \times 0,03 m$, et oleks mugavam varjasid liigutada ja tõsta. Varjade konstruktsioon on toodud graafilises lisas nr 11.

6.6 Läbilaskevõime

Töös projekteeritava kaheavalise ülevooluava 1 läbilaskevõime arvutamisel kasutati peatükis 6.3.2 valemist 6.6, läbilaskevõime on toodud lisas 3. Mõödavoolukraavil asuva künnisülevoolu ja lõigus 3 paikneva ülevooluava 2 läbilaskevõime arvutamisel kasutatakse sama valemist, kuid jäetakse arvestamata uputustegur, sest alavesi ei avalda takistust. Samuti muutub künnisülevoolu arvutamisel ülevoolutegur, milleks on võetud $m=0,375$.

Künnisülevoolu ja kaheavalise ülevooluava 2 läbilaskevõimed on toodud lisades 2 ja 4.

Ülevooluava 1 korral kasutati lähendusarvutust, kus läbilaskevõime põhivalemist avaldati surve H.[15]

$$H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{m \cdot \sigma_u \cdot \varepsilon \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^2}, \quad (6.29)$$

kus H on surve m;

m - ülevoolutegur, mille väärtus oleneb ülevoolu ehitusest, antud ülesandes 0,400;

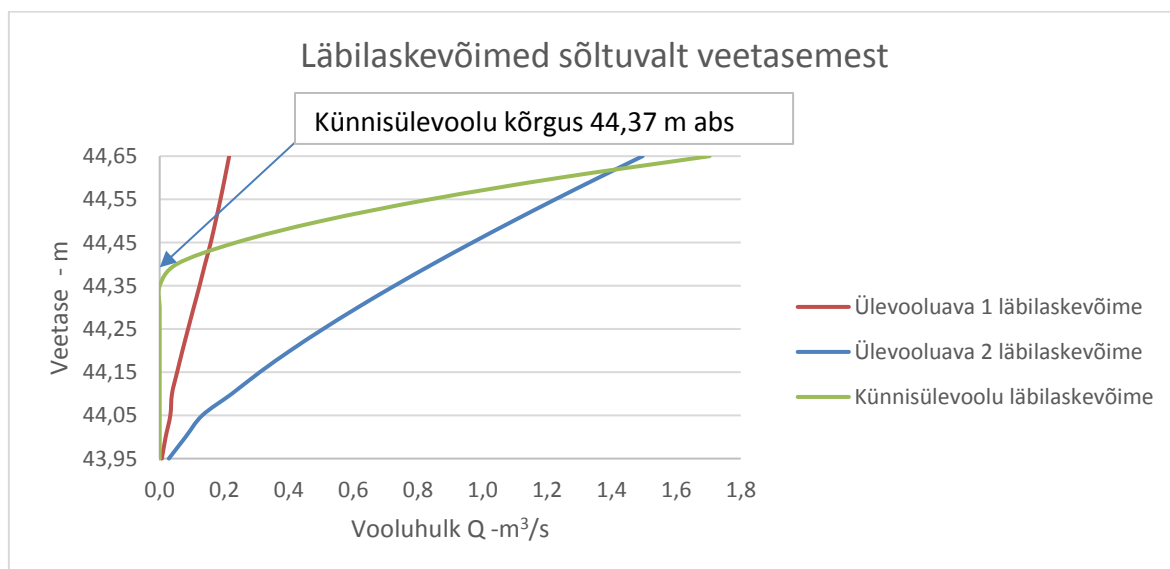
b - ava laius m;

g - raskuskiirendus, mille väärtus on 9,81 m/s²;

ε – külgkitsendustegur;

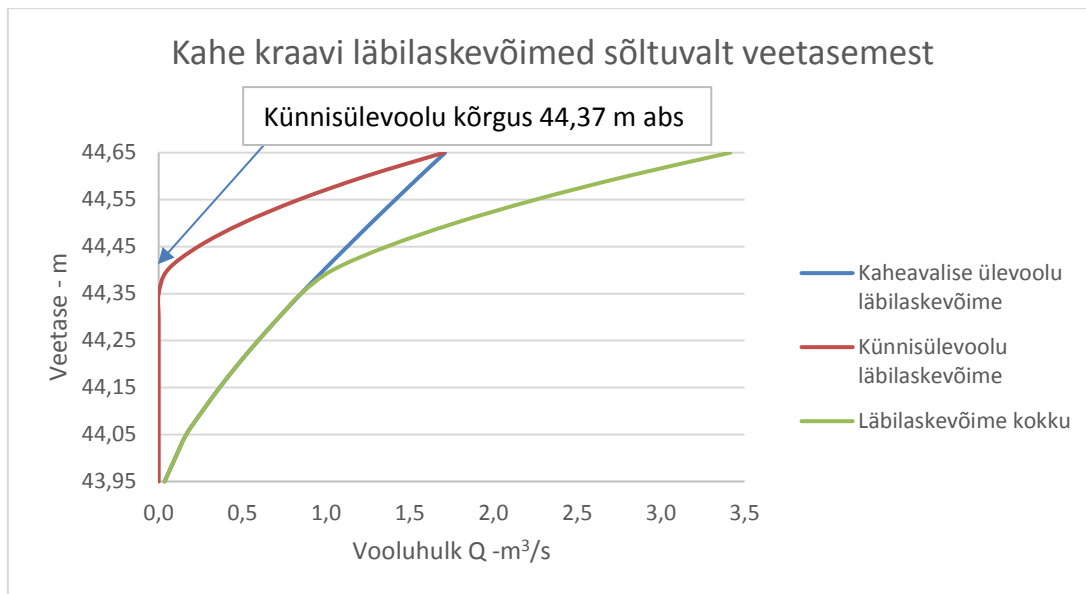
σ_u - uputustegur, mis saadakse tabelist 6;

Q - on vooluhulk m³/s.



Joonis 6.2. Mõdavoolumkraavi ja kaheavalise ülevoolu läbilaskevõimed

Vastavalt joonisele 6.2 on ülevooluava 1 maksimaalne läbilaskevõime veetaseme juures 44,65 m abs 215 l/s. Sama veetaseme juures on künnisülevool võimeline läbi laskma 1703 l/s. Ülevooluava 2 kasutatakse vaid erandkorras, ning tema läbilaskevõime on 1496 l/s.



Joonis 6.3 Mõõdavoolukraavi ja kaheavalise ülevoolu läbilaskevõime

Kui välitöödel mõõdetud vooluhulgad jäid 900 l/s piiresse, siis jooniselt 6.3 on näha, et vajadusel on võimalik kogu Kohtla jõe vooluhulk suunata vaid ühte sāngi. Selline võimalus on vajalik lõigu 3 puhastamiseks ning vajadusel konstruktsioonide remontimiseks.

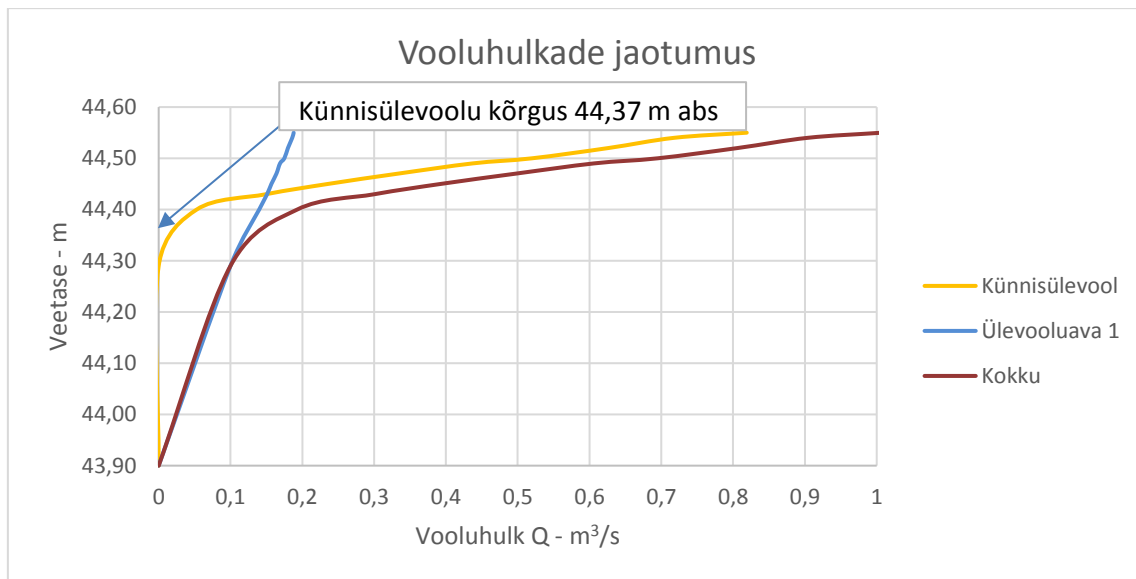
Kaheavalise ülevoolu läbilaskevõime on toodud lisas 5 ja kahe sāngi läbilaskevõime kokku asub lisas 6.

7. VOOLUHULKADE JAOTUMUS

Töös on ette nähtud, et igapäevaselt jäävad kasutusse nii möödavoolukraav kui ka Kohtla jõe säng. Seetõttu on vajalik uurida, kuidas jaotub Kohtla jõe vooluhulk kahe erineva sängi vahel – möödavoolukraavis ja lõigus 3, kui avatud on ainult üks ülevooluava. Tabelis 10 on lähendusarvutuste kaudu arvutatud veetasemed mõlemas sängis, kui jõe vooluhulgad on 0,1-1,0 m³/s. Antud vooluhulgad on valitud vastavalt välitööde mõõtmistulemustele, kuid lisa 7 tabelist on näha, et tegelik läbilaskevõime on palju suurem.

Tabel 10. Vooluhulkade jaotumine

Veetase m abs	Möödavoolukraav	Kohtla jõe säng	Q m ³ /s	Q l/s
43,90	0	0	0	0
44,29	0	0,100	0,1	100
44,40	0,053	0,140	0,193	193
44,43	0,15	0,151	0,301	301
44,45	0,236	0,157	0,393	393
44,47	0,333	0,164	0,497	497
44,49	0,437	0,169	0,606	606
44,50	0,520	0,175	0,695	695
44,52	0,626	0,180	0,806	806
44,54	0,718	0,186	0,904	904
44,55	0,819	0,188	1,007	1007



Joonis 7.1 Vooluhulkade jaotumine ava ja möödavoolukraavi korral

Seetõttu, et künnisülevoolu harjakõrgus on Kohtla jõe sāngi põhjakõrgusest 0,47 m kõrgemal, siis väikeste veetasemete korral võtab vooluhulgad vastu vaid lõigus 3 paiknev ülevooluava 1. Möödavoolukraavi hakkab vesi liikuma alates kõrgusest 44,37 m abs, mis on künnisülevoolu harjakõrgus. Tabelist 10 ja jooniselt 7.1 on näha, et veetasemete 44,40 m abs korral jagunevad vooluhulgad kahe sāngi vahel praktiliselt võrdselt, kuid tānu möödavoolukraavi suurele ava laiusele suubub enamuse Kohtla jõe vooluhulka veetasemete kasvades edaspidi möödavoolukraavi.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös uuriti võimalust Kohtla jõe veevoolu ümberjuhtimiseks kõige reostunumast alast, mis vähendaks reostuse allakannet suurvee ajal. Seoses töö eesmärgiga on esitatud projektlahendus Kohtla jõe möödavoolukraavis paikneva künnisülevoolu ning Kohtla jõe sāngi kaheavalise ülevoolu rajamiseks.

Erinevate alternatiivide võrdlusel arvestati olemasoleva reostuse ulatuse, Kohtla-Järve linna arengukavaga rekonstrueerida sademeveetorustik ja kohalike elanike sooviga jõgi enda kinnistu läheduses säilitada. Seoses suure reostuse mahuga Kohtla jõe lõigus 5 ei ole majanduslikult otstarbekas jõe sāngi reostusest puhastada, mistõttu osutus parimaks alternatiiviks rajada möödavoolukraav. Möödavoolukraav kulgeb paralleelselt kohaliku tee/metsateega nr 4370094 Püssi-Kohtla-Nõmme tee.

Magistritöös selgitati välja arvutuste aluseks olevad võimalikud vooluhulgad ning teostati nende põhjal lähendusarvutused, millega leiti möödavoolukraavis paikneva künnisülevoolu ja Kohtla jõe sāngis oleva ülevoolu parameetrid. Kui hilisemates projekteerimisetappides leitakse, et vooluhulgad on oluliselt suuremad, tuleb dimensioonid vastavalt ümber arvutada. Arvestades asjaoluga, et looduses on asjad muutuvad, ning puhastustööd antud lõigus on veel teostamata, on ettevaatusabinõuna Kohtla jõe sāngis paiknev ülevool projekteeritud kaheavalisena, milles üks on alaliselt lahti ning teine on varjadega reguleeritav. Teise ava kasutamine leiab kasutust vaid möödavoolukraavi rajamise ajal või ülevoolu remontimisel.

Kindlustamaks konstruktsioonide toimimise pikema aja jooksul, on teostatud ka kaheavalise ülevoolu püsivus- ja tugevusarvutused. Saadud andmetest järeldub, et kõik konstruktsioonid on projekteeritud piisava varuga.

Vesiehitiste dimensioonide kontrollimiseks arvutati töös välja jõe vooluhulgad erinevate veetasemete juures ning määrati konstruktsioonide läbilaskevõimed. Seetõttu, et igapäevaselt jääks kasutusse nii künnisülevooluga möödavoolukraav kui ka Kohtla jõe sāngis paiknev ülevool, siis oli vaja teostada vooluhulkade jaotumuse analüüs.

Vooluhulkade jaotumist uuriti Kohtla jõe vooluhulkade 0,1-1 m³/s juures ning leiti vastavad veetasemed.

Kohtla jõe projekteeritud möödavoolukraav kulgeb läbi maaparandussüsteemi Roodu 1/TP-758 KOHTLA (1107070010010), ristudes süsteemi eesvooluga ROODU 1 (1107070010010) ning kogumiskraavidega. Möödavoolukraav ristub ka maaparandussüsteemide eesvooludega Varbe peakraav (1107110020000) ja TUHAVÄLJA 2 (1107070010020). Seetõttu tuleb edasistes etappides projekteerida ka Kohtla jõe voolusängi ja möödavoolukraavi vahelise metsaala kuivendussüsteem.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Keskkonnaregistri avalik teenus.
2. Ida-Eesti veemajanduskava 2015-2021.
3. Kobras AS. Jääkreostusobjektide inventariseerimine 2014-2015 Purtse, Erra, Kohtla jõe ja fenoolisoo jääkreostuse ohutustamise eelprojekt.
4. A. Kahru, L. Põllumaa 2006. Environmental hazard of the waste streams of Estonian oil shale industry. [<http://www.kirj.ee/public/oilshale/oil-2006-1-5.pdf>]
5. Keskkonnainvesteeringute keskus. Eesti põlevkiviõli tootmise parim võimalik tehnika.
6. Riigi jäätmekava 2014-2020.
7. Geoloogiainstituut. Põlevkivi.
[http://www.gi.ee/geoturism/Polevkivi_CMYK_062011_100dpiS.pdf]
8. Keskkonnainvesteeringute keskus. Poolkoksi keskkonnaohtlikkus.
9. Keskkonnaministeerium 2013. Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030.
10. AS Maves. Ida-Virumaa Purtse jõe põhjasetete ohtlike ainete uuring.
11. Purtse, Erra ja Kohtla jõgedes jääkreostuse likvideerimise KMH aruanne 2016.
12. Riina Vaht 2010. Põlevkivi kaevandamisest tingitud hüdroloogilised muutused Purtse lisajõgede valgalas.
13. Keskkonnainvesteeringute keskus 2012. Vooluhulga mõõtmise juhend.
[<https://www.envir.ee/sites/default/files/vooluhulgamootmine.pdf>]
14. Eesti Meteoroloogia aastaraamat 2015; 2016.
15. Maastik, Haldre, Koppel ja Paal 1995. Hüdraulika ja pumbad.
16. AS Maves 2008. Vooluveekogu paisutamiseks nõutava vee erikasutusloa koostamise juhend.
17. Ida - Virumaa Lüganuse valla Varnja ja Aa küla Kohtla jõe kanali ehitusgeoloogilise uuringu aruanne. AS Maves.
18. Ottar Tamm. Vesiehitised I ja Vesiehitised II loengumaterjal.

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF DIVERSION AND DISTRIBUTION OF FLOW IN RIVER KOHTLA

Summary

The aim of this thesis was to analyze different possibilities for redirecting Kohtla river from the residual pollution areas. A comprehensive design is presented for planning a submerged weir into the diversion channel and an extra weir with two openings into the Kohtla stream bed.

In comparing different alternatives, existing pollution range and opinions of locals and their wish to preserve the river near their estates were taken into account.

For weir dimension calculations river flows were measured and approximation calculations were made. If in later project stages it were to be found that flows are substantially bigger, new calculations have to be made. It is also taken in account that nature is unpredictable, for that the weir in Kohtla stream bed is planned to have two openings, in which one is always open and other can be regulated with wooden shields.

To control the dimensions of hydraulic structures water-carrying capacity was determined. Due to the fact that the diversion channel and Kohtla river bed, both will be in service, the distribution of flows between two stream beds needed to be analyzed.

To ensure longevous durability for these constructions, strength calculations were also made. Calculation results show that all constructions were planned with vast supply.

The planned diversion channel runs through agricultural drainage system Roodu 1/TP-758 KOHTLA (1107070010010), crosses with Varbe peakraav (1107110020000) and TUHAVALJA 2 (1107070010020). In the wake of that, all drainage systems between Kohtla river bed and diversion channel must be replanned in future stages.

LISAD

Lisa 1. Möödavoolukraavi mahud

Märkused	Piketi nr	Pikettide vahekaugus	Veejuhtme							Kaeve ristlõige		Kaevemaht
			maapinna	põhja	sügavus m	pealmine	põhja	põhja- lang	nõlvus- tegur	piketi kohal	keskmise	kokku
Lõik 3	00+00-0+87	87	40,17	39,20	0,97	6,40	3,00	0,8	1,75	4,56	8,88	772,62
truup 25	0+87-1+00	13	41,29	39,27	2,02	10,07	3,00	0,8	1,75	13,20	13,41	174,27
	1+00-2+00	100	41,34	39,28	2,06	10,21	3,00	0,8	1,75	13,61	20,99	2099,23
	2+00-3+00	100	42,62	39,36	3,26	14,41	3,00	0,8	1,75	28,38	28,45	2845,04
	3+00-4+00	100	42,71	39,44	3,27	14,45	3,00	0,8	1,75	28,52	27,81	2780,91
	4+00-4+18	18	42,69	39,52	3,17	14,10	3,00	0,8	1,75	27,10	25,96	467,29
truup 24	4+18-4+31	13	42,54	39,53	3,01	13,52	3,00	0,8	1,75	24,83	26,14	339,80
	4+31-5+00	69	42,74	39,54	3,20	14,18	3,00	0,8	1,75	27,45	26,99	1862,53
	5+00-6+00	100	42,73	39,60	3,13	13,96	3,00	0,8	1,75	26,53	27,60	2760,09
	6+00-7+00	100	42,96	39,68	3,28	14,48	3,00	0,8	1,75	28,67	27,53	2753,12
	7+00-7+31	31	42,88	39,76	3,12	13,92	3,00	0,8	1,75	26,40	25,21	781,37
truup 23	7+31-7+44	13	42,73	39,78	2,95	13,31	3,00	0,8	1,75	24,02	25,87	336,35
	7+44-8+00	56	43,01	39,80	3,21	14,25	3,00	0,8	1,75	27,73	28,64	1603,64
	8+00-9+00	100	43,18	39,84	3,34	14,69	3,00	0,8	1,75	29,54	27,35	2734,94
	9+00-10+00	100	42,95	39,92	3,03	13,61	3,00	0,8	1,75	25,16	24,55	2455,14
	10+00-11+00	100	42,94	40,00	2,94	13,29	3,00	0,8	1,75	23,95	23,81	2381,38
	11+00-12+00	100	43,00	40,08	2,92	13,22	3,00	0,8	1,75	23,68	24,08	2408,10
	12+00-13+00	100	43,14	40,16	2,98	13,43	3,00	0,8	1,75	24,48	22,12	2211,59
	13+00-13+13	13	42,85	40,24	2,61	12,14	3,00	0,8	1,75	19,75	25,09	326,14

Lisa 1 järg

Märkused	Piketi nr	Pikettide vahekaugus	Veejuhtme							Kaeve ristlõige		Kaevemaht
			maapinna	põhja	sügavus m	pealmine	põhja	põhja- lang	nõlvus- tegur	piketi kohal	keskmine	kokku
truup 22	13+13-13+26	13	43,65	40,25	3,40	14,90	3,00	0,8	1,75	30,42	20,15	262,00
	13+26+13+30	4	41,93	40,26	1,67	8,84	3,00	0,8	1,75	9,88	6,52	26,08
Lõik 2	13+30-14+00	70	41,00	40,26	0,74	5,58	3,00	0,9	1,75	3,16	10,41	728,49
	14+00-15+00	100	42,76	40,33	2,43	11,52	3,00	0,9	1,75	17,66	18,66	1866,22
	15+00-16+00	100	43,02	40,42	2,60	12,11	3,00	0,9	1,75	19,67	20,66	2065,76
	16+00-17+00	100	43,27	40,51	2,76	12,67	3,00	0,9	1,75	21,65	22,62	2261,88
	17+00-17+10	10	43,51	40,60	2,91	13,20	3,00	0,9	1,75	23,59	23,73	237,28
truup 21	17+10-17+23	13	43,54	40,61	2,93	13,27	3,00	0,9	1,75	23,87	25,29	328,73
	17+23-18+00	77	43,76	40,62	3,14	14,00	3,00	0,9	1,75	26,71	27,71	2133,56
	18+00-19+00	100	43,97	40,69	3,28	14,49	3,00	0,9	1,75	28,71	28,28	2827,91
	19+00-20+00	100	44,00	40,78	3,22	14,28	3,00	0,9	1,75	27,85	27,99	2799,07
	20+00-21+00	100	44,11	40,87	3,24	14,35	3,00	0,9	1,75	28,13	28,42	2842,22
	21+00-22+00	100	44,24	40,96	3,28	14,49	3,00	0,9	1,75	28,71	29,08	2907,51
	22+00-22+62	62	44,38	41,05	3,33	14,67	3,00	0,9	1,75	29,44	30,74	1906,10
truup 20	22+62-22+75	13	44,61	41,10	3,51	15,28	3,00	0,9	1,75	32,05	31,96	415,46
	22+75-23+00	25	44,61	41,11	3,50	15,23	3,00	0,9	1,75	31,87	30,73	768,19
	23+00-24+00	100	44,48	41,14	3,34	14,70	3,00	0,9	1,75	29,59	29,08	2907,62
	24+00-25+00	100	44,50	41,23	3,27	14,46	3,00	0,9	1,75	28,57	27,36	2736,25
	25+00-26+00	100	44,42	41,32	3,10	13,86	3,00	0,9	1,75	26,16	28,77	2876,74
	26+00-27+00	100	44,87	41,41	3,46	15,12	3,00	0,9	1,75	31,38	34,05	3404,73
	27+00-28+00	100	45,30	41,50	3,80	16,31	3,00	0,9	1,75	36,72	40,30	4029,85
	28+00-28+14	14	45,81	41,59	4,22	17,78	3,00	0,9	1,75	43,88	45,02	630,35

Lisa 1 järg

Märkused	Piketi nr	Pikettide vahekaugus	Veejuhtme							Kaeve ristlõige		Kaevemaht
			maapinna	põhja	sügavus m	pealmine	põhja	põhja- lang	nõlvus- tegur	piketi kohal	keskmine	kokku
			kõrgusarv			laius m		promillides		m ²	m ²	m ³
truup 19	28+14-28+27	13	45,95	41,60	4,35	18,23	3,00	0,9	1,75	46,17	45,61	592,97
	28+27-28+30	3	45,90	41,61	4,29	18,01	3,00	0,9	1,75	45,05	43,18	129,53
Lõik 1	28+30-29+00	70	45,69	41,61	4,08	17,27	3,00	1,4	1,75	41,30	39,96	2797,20
	29+00-30+00	100	45,63	41,71	3,92	16,71	3,00	1,4	1,75	38,62	37,87	3787,28
	30+00-31+00	100	45,68	41,85	3,83	16,40	3,00	1,4	1,75	37,13	39,06	3905,98
	31+00-32+00	100	46,05	41,99	4,06	17,20	3,00	1,4	1,75	40,99	42,48	4247,94
	32+00-33+00	100	46,36	42,13	4,23	17,80	3,00	1,4	1,75	43,97	41,80	4179,69
	33+00-33+73	73	46,25	42,27	3,98	16,92	3,00	1,4	1,75	39,63	38,28	2794,25
truup 18	33+73-33+86	13	46,19	42,37	3,82	16,36	3,00	1,4	1,75	36,93	30,49	396,34
	33+86-34+00	14	45,34	42,39	2,95	13,32	3,00	1,4	1,75	24,05	29,14	407,96
	34+00-35+00	100	46,06	42,41	3,65	15,77	3,00	1,4	1,75	34,23	34,15	3415,41
	35+00-36+00	100	46,19	42,55	3,64	15,73	3,00	1,4	1,75	34,08	31,57	3157,47
	36+00-37+00	100	46,00	42,69	3,31	14,58	3,00	1,4	1,75	29,07	27,93	2793,02
	37+00-38+00	100	45,98	42,83	3,15	14,02	3,00	1,4	1,75	26,79	25,89	2588,99
	38+00-39+00	100	45,99	42,97	3,02	13,56	3,00	1,4	1,75	24,99	21,82	2182,16
	39+00-39+02	2	45,63	43,11	2,52	11,81	3,00	1,4	1,75	18,65	16,05	32,11
truup 17	39+02-39+15	13	45,16	43,11	2,05	10,16	3,00	1,4	1,75	13,46	16,28	211,70
	39+15-40+00	85	45,69	43,13	2,56	11,95	3,00	1,4	1,75	19,11	17,85	1516,95
	40+00-41+00	100	45,59	43,25	2,34	11,18	3,00	1,4	1,75	16,58	11,31	1130,69
	41+00-41+95	95	44,58	43,39	1,19	7,16	3,00	1,4	1,75	6,03	3,02	286,61

Lisa 2. Möödavoolukraavi läbilaskevõime

Ava laius m	Veetasemete kõrgus m abs	Kõrgus künnisülevoolest m	ε	Q m ³ /s	Q l/s
6,00	44,37	0	1	0	0
6,12	44,40	0,03	0,999	0,053	52,743
6,29	44,45	0,08	0,997	0,236	235,892
6,47	44,50	0,13	0,996	0,501	501,317
6,64	44,55	0,18	0,994	0,837	837,228
6,81	44,60	0,23	0,992	1,239	1238,707
6,99	44,65	0,28	0,991	1,703	1703,476

Lisa 3. Lõigus 3 paikneva kaheavalise ülevooluava 1 läbilaskevõime

Veetasemete kõrgus m abs	ε	h_0	h_0/H_0	σ_u	Q m^3/s	Q l/s
43,95	0,971	0,05	1	0	0,007	6,735
44,00	0,943	0,10	1	0	0,018	18,489
44,05	0,914	0,15	1	0	0,033	32,938
44,10	0,886	0,16	0,800	0,776	0,038	38,122
44,15	0,857	0,19	0,760	0,814	0,054	54,057
44,20	0,829	0,22	0,733	0,836	0,071	70,599
44,25	0,800	0,25	0,714	0,856	0,088	87,931
44,30	0,771	0,27	0,675	0,873	0,106	105,628
44,35	0,743	0,29	0,644	0,888	0,124	123,541
44,40	0,714	0,31	0,620	0,897	0,141	140,506
44,45	0,686	0,32	0,582	0,912	0,158	158,252
44,50	0,657	0,34	0,567	0,916	0,173	173,408
44,55	0,629	0,36	0,554	0,922	0,188	188,336
44,60	0,600	0,37	0,529	0,927	0,202	202,002
44,65	0,571	0,38	0,507	0,935	0,215	215,200

Lisa 4. Lõigus 3 paikneva kaheavalise ülevooluava 2 läbilaskevõime

Veetasemete kõrgus m abs	ε	Q m ³ /s	Q l/s
43,95	0,993	0,029	28,525
44,00	0,986	0,080	80,121
44,05	0,981	0,132	131,978
44,10	0,972	0,223	223,447
44,15	0,966	0,310	310,061
44,20	0,959	0,405	404,675
44,25	0,952	0,506	506,280
44,30	0,945	0,614	614,073
44,35	0,938	0,727	727,390
44,40	0,931	0,846	845,665
44,45	0,924	0,968	968,408
44,50	0,917	1,095	1095,186
44,55	0,910	1,226	1225,613
44,60	0,903	1,359	1359,339
44,65	0,897	1,496	1496,045

Lisa 5. Lõigu 3 läbilaskevõime kokku

Veetasemete kõrgus m abs	Q m ³ /s	Q l/s
43,95	0,035	35,260
44,00	0,099	98,610
44,05	0,165	164,916
44,10	0,262	261,569
44,15	0,364	364,118
44,20	0,475	475,274
44,25	0,594	594,211
44,30	0,720	719,701
44,35	0,851	850,930
44,40	0,986	986,170
44,45	1,127	1126,660
44,50	1,269	1268,595
44,55	1,414	1413,949
44,60	1,561	1561,341
44,65	1,711	1711,246

Lisa 6. Lõigu 3 ja möödavoolukraavi läbilaskevõime kokku

Veetasemete kõrgus m abs	Q m ³ /s	Q l/s
43,95	0,035	35,260
44,00	0,099	98,610
44,05	0,165	164,916
44,10	0,262	261,569
44,15	0,364	364,118
44,20	0,475	475,274
44,25	0,594	594,211
44,30	0,720	719,701
44,35	0,851	850,930
44,40	1,039	1038,914
44,45	1,363	1362,553
44,50	1,770	1769,912
44,55	2,251	2251,178
44,60	2,800	2800,048
44,65	3,415	3414,722

Lisa 7. Kaheavalise ülevoolu ja möödavoolukraavi läbilaskevõimed kokku

Veetasemete kõrgus m abs	Q m ³ /s	Q l/s
43,95	0,007	6,735
44,00	0,018	18,489
44,05	0,033	32,938
44,10	0,038	38,122
44,15	0,054	54,057
44,20	0,071	70,599
44,25	0,088	87,931
44,30	0,106	105,628
44,35	0,124	123,541
44,40	0,193	193,249
44,45	0,394	394,145
44,50	0,675	674,726
44,55	1,026	1025,564
44,60	1,441	1440,709
44,65	1,919	1918,677

Lisa 8. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (tähtajatu piirang) ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Kätlin Vodja,
(sünnipäev 07.09.1993)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Kohtla jõe ümbersuunamise võimaluste ja vooluhulkade jaotumise uurimine, mille juhendaja(d) on Urmas Uri ja Erki Kõnd,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 19.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

GRAAFILISED LISAD

- 1. Asukohaplaan 1:30 000**
- 2. Alternatiivide plaan 1:15 000**
- 3. Põhielementide plaan 1:200**
- 4. Möödavoolukraavi pikiprofiil M_v 1:100 M_h 1:5000**
- 5. Olemasolev sängi lõige Jõe kinnistu (kü 32003:001:0013) juures 1:100**
- 6. Projekteeritava künnisüleoolu pealtvaade 1:100**
- 7. Projekteeritava künnisüleoolu lõiked 1:100**
- 8. Projekteeritava kaheavalise üleoolu plaan ja lõiked 1:50**
- 9. Filtratsioonivoolu survepüür Lane'i meetodil 1:20**
- 10. Üleoolule mõjuvad jõud 1:20**
- 11. Varjade konstruktsioon 1:20**